

文章编号: 1673-3819(2008)01-0114-04

# 微分对策及其在军事领域的研究进展\*

方绍琨, 李登峰

(海军大连舰艇学院, 辽宁 大连 116018)

**摘要:** 介绍了微分对策的产生背景及其半个多世纪以来的发展历程, 简述了国内外微分对策理论发展的几个重要阶段及其标志性成果。全面地阐述了国内外关于微分对策在军事领域的应用研究状况, 特别是美、俄等军事强国在微分对策军事应用研究方面的现状以及我国研究人员在该领域的主要研究成果。还进一步论述了微分对策在军事应用研究方面存在的问题, 并对微分对策的发展前景做出了展望, 指出了微分对策在军事应用领域中的研究热点、难点和主要发展方向。

**关键词:** 微分对策; 对策论; 军事应用; 控制论

中图分类号: E911; O225 文献标识码: A

## Research Advances on Differential Games and Applications to Military Field

FANG Shao-kun, LI Deng-feng

(Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China)

**Abstract:** Development background and history on differential games over the past half century are reviewed and several important stages and research results are stated briefly in this paper. Application research status on differential games in military field is discussed in detail, especially military power countries such as the USA and Russia and main results of researchers in our country. Furthermore, this paper states problems of military application research for differential games and prospect, the focuses, difficulties and the main directions.

**Key words:** differential game; game theory; military application; Cybernetics

### 1 微分对策发展概述

20世纪50年代初以来, 由于军事需要, 美国数学家 Isaacs 等人把现代控制理论与对策论的思想结合起来研究双方连续对抗问题, 撰写了4份研究报告<sup>[1]</sup>, 并根据这些报告整理出版了《微分对策》一书<sup>[2]</sup>, 标志着微分对策的诞生。很快地, 出于军备竞赛的需要, 美苏对空战、核导弹与人造卫星拦截、电子战等方面提出了各种类型的微分对策模型, 有力地促进了微分对策的快速发展。1971年, 美国科学家 Friedman 严格证明了微分对策值与鞍点的存在性, 从而奠定了微分对策坚实的理论基础<sup>[3]</sup>, 微分对策理论日趋成熟。

微分对策的研究时间虽然不长, 但其理论与应用研究已经有了很大的发展。1969年, Starr 和 Ho 研究了非零和微分对策问题<sup>[4-5]</sup>, Friedman、Leitmann 和 Melhmann 在这方面也做了大量的工作<sup>[3,6-7]</sup>。此后, Lucks 讨论了在具有二次型目标函数的线性微分对策中的平衡反馈控制问题<sup>[8]</sup>, Cruz 和 Chen 讨论了二人非零和二次型闭环无记忆 Nash 对策的级数解<sup>[9]</sup>, Papavassilopoulos、Weeren 和 Simaan 等人围绕微分对策的 Nash<sup>[10]</sup>均衡点问题和代数 Riccati 方程组进行了大量的研究<sup>[11-21]</sup>。同时, 除了确定性定量微分对策和定性微分对策不断发展完善外, 随机微分对策、多人

合作与非合作微分对策、阵位对策、主从微分对策、多目标微分对策、模糊微分对策、协商谈判微分对策等方面也取得一定的发展<sup>[22-27]</sup>。从20世纪90年代开始, 微分对策在  $H_\infty$  控制中得到广泛的应用<sup>[28-34]</sup>, 具有风险参数的控制问题也已引起了很多研究者的兴趣, 这就迫切需要建立具有风险参数的随机控制和  $H_\infty$  控制之间的关系, 从而使得随机微分对策的研究又向前迈进了一步<sup>[35-40]</sup>。

我国对微分对策的研究起步较晚, 研究人员也不多。张嗣瀛院士把他提出的关于处理快速控制的方法加以推广, 得到了定性微分对策最优策略所应满足的必要条件, 确定了界栅方程, 随后又提出了定量控制和定性控制的统一性, 得到了双边控制的“定量极值原理”和“定性极值原理”<sup>[24]</sup>。李登峰教授在文献<sup>[22]</sup>中系统地研究了微分对策的数学概念、理论、方法和应用, 介绍了微分对策的经典理论, 包括追逃问题模型的详细分析, 并对多人微分对策、主从微分对策等稍晚发展起来的热门课题做了深入的研究。

### 2 微分对策在军事领域的应用研究状况

微分对策起源于军事问题, 最初是因制导系统拦截飞行器的引入、人造卫星的发射、航天技术中有关机动追击等国防和军事问题的需要而产生的。因此, 军事领域中的微分对策研究一直是微分对策发展的动力和热点, 特别在当今世界, 高科技手段在军事中的广泛应用, 使得军事领域中的微分对策问题研究显得尤为重要。

微分对策在军事上的应用起源于空中的机动追击。军事对抗模型大多是非线性微分对策模型, 如追

收稿日期: 2007-04-16 修回日期: 2007-05-18

\*基金项目: 国家自然科学基金项目(70571085)

作者简介: 方绍琨(1980-), 男, 黑龙江哈尔滨人, 硕士研究生, 研究方向为舰艇作战运筹理论与方法。  
李登峰(1965-), 男, 博士后, 教授, 博士生导师。

逃问题、拦截问题、合作问题等。美国学者 Isaacs<sup>[1-2]</sup>、Friedman<sup>[41]</sup>、Leitmann<sup>[42-44]</sup>等均对非线性微分对策的发展做出了重要贡献。Leitmann<sup>[42-44]</sup>等以空战为研究对象,对飞机的追击、躲避等问题进行了研究,发展了军事微分对策。Berkovitz<sup>[45]</sup>研究了具有固定逗留期的非线性微分对策鞍点的存在性和微分对策的值。而在文献<sup>[46]</sup>中则研究了一类更具有一般性的追逃问题。在理论研究的同时,微分对策的应用研究也得到了很大的进展,涉及到导弹和飞机的追躲、飞机格斗、卫星拦截、舰艇对抗和避碰等方面的问题。在西方,除了美国仍在研究外,法国、西德、以色列、南非均有人研究,印度科学院也有人研究,前苏联在这方面虽然着手较晚,但由于军备竞赛的需要,加之其在控制论方面基础较好,所以也很快发展了起来。

由于安全保密的原因,国外军事领域中的微分对策研究资料很难在公开发表的文献中找到。但现有资料显示,该领域中的微分对策研究将与电子信息技术紧密结合,以微分对策的数值算法研究为重点方向<sup>[22, 47]</sup>。一些较为实用的控制方法,如自适应控制、学习控制等将在这类微分对策的研究中发挥重要作用。

近年来,微分对策在军事方面的应用研究在我国也开始受到重视,并取得了一系列的进展。国防科学技术大学的刘德铭教授多年来一直从事对策论、微分对策的研究与教学工作,取得了丰硕的理论与应用成果<sup>[72]</sup>。沙基昌教授以 Lanchester 战斗方程的研究为出发点,分析了典型的军事问题,并编写了《数理战术学》一书<sup>[48]</sup>,沙教授探讨了最优控制与微分对策的关系,并在此基础上研究了关于国防开支的最优比例问题,同时,他深入研究了单兵种对多兵种以及多兵种对多兵种作战的火力分配问题,建立了相应的微分对策通用模型,并给出了求解方法。从1981年初开始,江苏自动化研究所的董志荣教授围绕着几个情报指挥控制系统研制中提出的舰艇对抗问题,研究了一些国内外的微分对策理论模型与方法,并在此基础上,从现代控制理论的观点与框架出发,组织编写了《微分对策的基本原理及其在军事对抗中的应用》一书<sup>[49]</sup>,深入研究了近地圆形轨道上卫星的拦截问题,建立了卫星运动方程并给出了相应的解法;在疯司机和两车型对策的基础上,考虑了转弯时的速率损失问题,解决了具有转弯率损失的平面追躲对策问题,同时,从研究固定时间的简单火箭的追躲问题、最小拦截时间问题以及具有约束控制的三维最佳追逐和逃避问题入手,运用定量随机微分对策,综合地研究了导弹和飞机的追躲问题;另外,该书系统地介绍了定性微分对策,提出了定性微分对策研究的主要问题就是要确定界栅方程以及在界栅上双方的最优策略,并给出了舰艇追躲对策、舰艇格斗对策、雷达监视对策等问题的建模过程与求解方法,还以常速单目标两车型定性微

分对策研究了舰船避碰问题;用常速双目标两车型定性微分对策研究了空中格斗问题。海军大连舰艇学院的李登峰教授自20世纪90年代开始微分对策的研究,在兵力增援、舰艇对抗及火力分配方面进行了深入研究并取得了丰硕的理论与应用成果<sup>[50-56]</sup>,特别是在舰艇作战领域,将追逃微分对策与固定逗留期微分对策交叉使用,建立了驱逐舰追击导弹快艇的动态对抗攻击模型,还将微分对策理论应用到舰艇编队导弹攻击火力分配问题中,建立了模型并给出了新的解算方法——拉格朗日乘子法,并在此基础上,开创性地探讨了驱逐舰编队对空火力分配的微分对策应用问题。另外,微分对策制导规律(DGGL)问题也是当今的一个热点。二战以来,导弹技术得到很大发展,但制导规律与其相比还有相当大的差距,因此很多人对此问题展开研究,以期将最优控制从单方发展到双方(或多方),从静态发展到动态,从而更加符合实战,性能更加优越。在这个领域,我国的一些研究者也在积极探索,并发表了大量相关文章<sup>[57-63]</sup>。除了上述的制导律外,空中格斗也是微分对策应用的一大领域。在经典的“二车对策型”模型的基础上,国内外学者建立了很多空中决斗模型,从单对单发展到多对多,从无智能对抗发展到有智能对抗,运动状态的描述更具有实时性,对抗过程更具有真实性<sup>[64-71]</sup>。

### 3 微分对策在军事领域应用中存在的问题及未来的发展方向

经过半个多世纪的发展,微分对策已经成为控制论和对策论相交叉的一门独立学科,其在军事领域的应用也将更深、更广,但在具体的应用中,还存在不少问题。

首先,军事对抗是一个复杂的过程,要想合理地描述各种对抗过程,就必须进行复杂对抗环境下的数学建模,而其中涉及的模型参数多、层次多,指标体系难以合理确定,目标函数相互冲突且不可公度。此外,为了使所构建的模型更加符合实际,有时还要考虑人的因素,比如,指挥员的指挥经验与胆识、士气等,而这些因素是难以量化的。因此,要想根据实际的军事背景建立对抗模型是一项十分复杂且艰巨的工作,既是一个技术问题,也是一个艺术问题。

其次,建模的复杂性导致了求解的复杂性。微分对策求解由于通常情况下会涉及到两点边值微分方程问题,尤其是两点边值偏微分方程组,属于高维非线性方程求解问题,一直以来都是一项非常困难的工作,迄今为止尚未有比较完善、有效的实时算法。然而在军事应用中,特别是实时的军事对抗,战场态势瞬息万变,如果模型求解时间过长,就失去了时效性,从而也失去了实用性。因此,提升微分对策求解速度是一个亟待解决的问题。

由此可见,微分对策在军事领域应用的研究还有很长的一段路要走,但可以预见,在这一领域的发展前景是十分广阔的。下面几个方面将是未来的主要研究重点与热点:

第一,多目标微分对策是未来的一个发展方向。目前微分对策在军事上的应用大都是单目标的,但由于军事对抗的复杂性,使得决策主体的多元化、目标的多样性更加明显,从而今后在多目标微分对策问题的研究上将会加大力度,与此相关的多目标微分对策问题,比如,解的概念、解的存在性及求解方法等,也将是研究的重点。

第二,多人(或多方)微分对策也是将来的一个发展方向。在现实的军事对抗问题中,多方参与的对抗情况大量存在,比如,舰艇编队的对抗、多兵军种的联合作战,由此参与的多方之间存在合作与非合作问题。但目前的单对单模型已经不能有效地解决这种多方对抗的问题了。因此,研究多人微分对策已经成为今后研究的必然方向。

第三,在实际的军事对抗中,对抗双方(或多方)的角色有时并不是一成不变的,也即并非要么是攻击者要么是防御者,即角色的不确定性;对抗双方(或多方)所采用的策略也可能由于环境等原因产生某些不确定性。这样就产生了一类模糊(或不确定)微分对策,可用模糊方法来研究。目前对于模糊微分对策的研究还十分少,需在理论方法与应用上做深层次的探讨。这是一个有很大发展空间的研究方向。

第四,很多军事问题,特别是实时对抗问题(如舰艇对抗、空中格斗等),对微分对策解的时效性要求很高,开发一种实时有效的算法是今后的一个重要努力方向。

最后,在微分对策建模问题上,如何将人的经验体现在模型中,如何将人工智能与微分对策相结合发展智能型对策,从而使模型更趋于实际,使对抗更具真实性、实时性,也是一个有待于深入研究的问题。可以相信,随着计算机技术和其他理论的发展,在不久的将来,这一切都能实现。

#### 参考文献:

- [1] Isaacs R. Differential Games[R]. Research Memoranda RM-1391, RM-1399, RM-1411, RM-1468, Rand Corporation, 1956.
- [2] Isaacs R. Differential Games[M]. New York: John Wiley & Sons, 1965.
- [3] Friedman A. Differential Games[M]. New York: John Wiley, 1971.
- [4] Starr A W, Ho Y C. Nonzero-sum Differential Games [J]. Journal of Optimization and Application, 1969, 3, (3): 184-206.
- [5] Starr A W, Ho Y C. Further Properties of Nonzero-sum Differential Games [J]. Journal of Optimization and Application, 1969, 3, (3): 207-219.
- [6] Leitmann G. Cooperative and Non-cooperative and Many-Player Differential Games [M]. New York: Springer Verlag, 1974.
- [7] Melhmann A. Applied Differential Games [M]. New York: Plenum Press, 1988.
- [8] Lucks D L. Equilibrium Feedback Control in Linear Games with Quadratic Cost [J]. Journal on Control and Optimistic, 1971, 9(2): 234-252.
- [9] Cruz J B, Chen C I. Series Nash Solution of Two-Person Nonzero-sum Linear-Quadratic Games [J]. Journal of Optimization Theory and Applications, 1984, 42: 551-560.
- [10] Nash J. Non-cooperative Games [J]. Annals of Mathematics, 1951, 54(3): 286-295.
- [11] Papavassilopoulos G P, Cruz Jr JB. On the Uniqueness of Nash Strategies for a Class of Analytic Differential Games [J]. Journal of Optimization Theory and Applications, 1979, 27 (2): 309-314.
- [12] Papavassilopoulos G P, Medanic J V, Cruz Jr J B. On the Existence of Nash Strategies and Solutions to Coupled Riccati Equations in Linear Quadratic games [J]. Journal of Optimization Theory and Applications, 1979, 28(1): 49-76.
- [13] Papavassilopoulos G P, Olsedr G J. On the Linear-Quadratic, Closed-Loop No-Memory Nash Games [J]. Journal of Optimization Theory and Applications, 1984, 42(4): 551-560.
- [14] Weeren A J T M, Schumacher J M, Engwerda J C. A Symptotic Analysis of Linear Feedback Nash Equilibrium in Nonzero-sum Linear-Quadratic Differential Games [J]. Journal of Optimization Theory and Applications, 1999, 101(3): 693-722.
- [15] Simaan M, Cruz Jr J B. On the Solutions of Open-Loop Nash-Riccati Equations in Linear-Quadratic Differential Games [J]. Int J Control, 1973, 18(1): 57-63.
- [16] Abou-Kandil H, Bertrand P. Analytic for A Class of Linear-Quadratic Open-Loop Nash Games [J]. Int J Control, 1986, 43(3): 997-1002.
- [17] Abou-Kandil H, Freiling G, Jank G. Necessary Conditions for Constant Solutions of Coupled Riccati Equations in Nash Games [J]. Systems & Control Letters, 1993, 21(4): 295-306.
- [18] Freiling G, Jank G, Abou-Kandil H. On Global Existence of Solutions to Coupled Matrix Riccati Equations in Closed-Loop Nash Games [J]. IEEE Trans on Automatic Control, 1996, 41 (2): 264-269.
- [19] Engwerda J C. On the Open-Loop Nash Equilibrium in LQ-Games [J]. Journal of Economic Dynamics and Control, 1998, 22(5): 729-762.
- [20] Engwerda J C. Computational Aspects of the Open-Loop Nash Equilibrium in Linear-Quadratic Games [J]. Journal of Economic Dynamics and Control, 1998, 22(8-9): 1487-1506.
- [21] Engwerda J C. Feedback Nash Equilibrium in the Scalar Infinite Horizon LQ-Games [J]. Automatica, 2000, 36(1): 135-139.
- [22] 李登峰. 微分对策及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000.
- [23] L.A. Petrosjan. Differential Games of Pursuit [M]. Singapore: World Scientific Press, 1993.
- [24] 张嗣瀛. 微分对策[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [25] Jacobson O H. Optimal Stochastic Linear Systems With Exponential Performance Criteria and Their Relation to Deterministic Differential Games [J]. IEEE Trans.on Automatic Control, 1973,18: 124-131.
- [26] Whittle P. Risk-Sensitive Linear Quadratic Gaussian Control [J]. Advances in Applied Probability, 1981,13: 764-777.

- [27] Whittle P, Ruhn J. A Hamiltonian Formulation of Risk-Sensitive Linear-Quadratic-Gaussian Control. *International Journal of Control*, 1986, 43: 1-12.
- [28] Basar T, Bernard P.  $H_\infty$ -Optimal Control and Related Minimax Design Problems [M]. Boston, Massachusetts: Birkhauser, 1991.
- [29] Pan Z G, Baser T.  $H_\infty$ -Optimal Control for Singularly Perturbed Systems—Part II: Imperfect state measurements [J]. *IEEE Trans on Automatic Control*, 1994, 39(2): 280-299.
- [30] Yung C F, Wang H S.  $H_\infty$  Controller Reduction for Nonlinear Systems [J]. *Automatica*, 2001, 37(11): 1797-1802.
- [31] Didinsky G, Basar T. Structural Properties of Minimax Controllers for A Class of Differential Games Arising in Nonlinear  $H_\infty$  Control [J]. *Systems & Control Letters*, 1993, 21(5): 433-441.
- [32] Savk in A V, Evans R J, Skafidas E. The Problem of Optimal Robust Sensor Scheduling [J]. *Systems & Control Letters*, 2001, (2): 149-157.
- [33] Yoneyama J, Speyer J L, Dillon C H. Robust Adaptive Control for Linear Systems with Unknown Parameters [J]. *Automatica*, 1997, 3(10): 1909-1916.
- [34] Amato F, Pironti A H. Optimal Terminal State Control for Linear Systems with Lumped and Distributed Time-Delays [J]. *Automatica*, 1999, 35(9): 1619-1624.
- [35] Fleming W H, Mceneaney W M. Risk-Sensitive Control and Differential Games [M]. Lecture Notes in Control and Information Science, Springer, Berlin, Germany, 1992: 185-197.
- [36] James M R, Baras J, Elliott R J. Risk-Sensitive Control and Dynamic Games for Partially-Observed Discrete-Time Nonlinear Systems [J]. *IEEE Trans. On Automatic Control*, 1994, 39: 780-792.
- [37] Whittle P. Risk-Sensitive Optimal Control [M]. John Wiley and Sons: Chichester England, 1990.
- [38] Pan Z, Basar T. Backstepping Controller Design for Nonlinear Stochastic Systems Under A Risk-Sensitive Cost Criterion [J]. *Proceedings of the 1997 American Control Conference Albuquerque New Mexico*, 1997: 1278-1282.
- [39] Runolfsson T. The Equivalence Between Infinite-Horizon Optimal Control of Stochastic Systems with Exponential-of-Integral Performance Index and Stochastic Differential Games [J]. *IEEE Trans. On Automatic Control*, 1994, 39: 1551-1563.
- [40] Basar T, Olsder G J. Dynamic Noncooperative Game Theory [M]. 2nd Ed. Academic Press: London, England, 1995.
- [41] Friedman A. Differential Games [M]. Rhode Island: American Mathematical Society, 1974.
- [42] Leitmann G, Showronski J. Avoidance Control [J]. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 1977, 23(4): 581-591.
- [43] Getz W, Leitmann G. Qualitative Differential Games with Two Targets [J]. *J Math Anal Appl*, 1979, 68(3): 421-430.
- [44] Leitmann G. Guaranteed Avoidance Strategies [J]. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 1980, 32(4): 569-576.
- [45] Berkovitz L D. The Existence of Value and Saddle Point in Games of Fixed Duration [J]. *SIAM J Control*, 1985, 23(2): 1722-1736.
- [46] Berkovitz L D. Differential Games of Generalized Pursuit and Evasion [J]. *SIAM J Control*, 1986, 24(3): 361-372.
- [47] K.A. Zemskov, A.G. Pashkov. Construction of Optimal Position Strategies in A Differential Pursuit-Evasion Game with One Pursuer and Two Evaders [J]. *Journal of Applied Mathematics and Mechanics*, 1997, 61(3): 391-399.
- [48] 沙基昌. 数理战术学[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [49] 董志荣. 微分对策的基本原理及其在军事对抗中的应用[R]. 《国外舰船技术》火控技术类编辑室, 1983.
- [50] 李登峰, 谭安胜, 罗飞. 兵力增援微分对策优化模型及解法[J]. *运筹与管理*, 2002, 11(4): 16-20.
- [51] 李登峰, 陈庆华. 兵力增援微分对策优化模型及解法[J]. *火力与指挥控制*, 2004, 29(1): 23-25.
- [52] 罗飞, 李登峰, 陈庆华. 微分对策界栅理论在舰艇作战能力评估中的应用[J]. *火力与指挥控制*, 2003, 28(5): 104-105, 112.
- [53] 李登峰. 舰艇抗击定量微分对策模型[J]. *海军大连舰艇学院学报*, 1999, 22(1): 55-56.
- [54] 李登峰, 刘德铭. 舰艇对抗微分对策建模研究[J]. *运筹与管理*, 2000, 9(3): 47-50.
- [55] 李登峰, 罗飞. 舰艇编队导弹攻击火力分配微分对策模型及解法[J]. *海军大连舰艇学院学报*, 2003, 26(1): 12-14.
- [56] 罗飞, 李登峰, 陈庆华. 舰艇编队导弹攻击火力分配微分对策模型[J]. *装备指挥技术学院学报*, 2003, 14(5): 89-92.
- [57] 周卿吉, 徐诚, 周文松, 彭绍雄, 沈如松. 微分对策制导律的研究现状及展望[J]. *系统工程与电子技术*, 1997, 11: 40-45.
- [58] 徐诚, 沈如松, 周文松, 彭绍雄, 周卿吉. 基于模糊理论的微分对策制导律[J]. *飞行力学*, 1997, 15(1): 86-90.
- [59] 常新杰, 李言俊. 空空导弹的微分对策末制导律研究[J]. *航空兵器*, 1997(1): 29-34.
- [60] 王锡泉, 贾晓洪. 空空导弹末端控制 (Endgame) 技术研究[J]. *航空兵器*, 1997(6): 1-6.
- [61] 陈磊, 王海丽, 任萱. 实时微分控制的算法研究[J]. *航天控制*, 2001(4): 48-52.
- [62] 汤善同. 微分对策制导规律与改进的比例导引制导规律性能比较[J]. *宇航学报*, 2002, 23(6): 38-42, 61.
- [63] 左斌, 扬长波, 李静. 基于微分对策的导弹攻击策略[J]. *海军航空工程学院学报*, 2005, 20(5): 524-526.
- [64] 姜玉宪. 空战攻防对策的力学准则研究[J]. *飞行力学*, 1997, 15(3): 90-96.
- [65] 王义宁, 姜玉宪. 后射导弹对空战对策及航空技术影响研究[J]. *飞行力学*, 2002, 20(2): 47-50.
- [66] 王义宁, 姜玉宪. 空战决策中的智能微分对策法[J]. *飞行力学*, 2003, 21(1): 66-70.
- [67] 许西震, 敬忠良, 金德琨, 等. 机动目标跟踪-火控综合系统动态品质分析[J]. *航空学报*, 1997, 18(1): 7-11.
- [68] 秦艳琳, 吴晓平. 单个追击者与两目标追逃对抗建模及仿真[J]. *仿真技术*, 2006, 22(5-1): 293-295.
- [69] 秦艳琳, 吴晓平, 杨广. 基于梯度迭代法的一类追逃对抗模型研究[J]. *海军工程大学学报*, 2005, 17(4): 108-112.
- [70] 李建勋, 佟明安, 金德琨. 协商微分对策理论及其在多机空战分析中的应用[J]. *系统工程理论与实践*, 1997(6): 68-72, 89.
- [71] 盛蔚, 李建勋, 佟明安. 微分对策论在多机协同攻击中的应用研究[J]. *系统工程与电子技术*, 1998(3): 7-11.
- [72] 刘德铭. 对策论及其应用(上、下册)[M]. 长沙: 国防科学技术大学研究生讲义, 1985.