

· 学科进展与展望 ·

国家自然科学基金助 中国机构学研究走向国际前沿

——记燕山大学黄真教授在科学基金的持续资助下取得的创新成果

王国彪¹ 赖一楠¹ 丁华锋² 刘辛军³

(1 国家自然科学基金委员会工程与材料科学部, 北京 100085;

2 燕山大学机械工程学院, 秦皇岛 066004; 3 清华大学精密仪器与机械学系, 北京 100084)

[摘要] 燕山大学黄真教授 30 余年来淡泊名利、潜心研究, 在 11 项国家自然科学基金项目的持续资助下, 在机构学领域取得了丰硕的创新成果, 培养了大批卓有建树的国际知名机构学专家学者。他率先在中国开展了并联机器人的研究, 建立了系统的并联机器人机构学分析与综合理论, 包括基于螺旋理论修正的空间多闭环机构自由度计算公式, 为自 Chebyshev、Grübler 和 Kutzbach 以来困惑机构学界百余年的疑难问题提供了解决方法; 发展并完善了少自由度并联机构的综合原理等。2010 年获国际学术组织 IFToMM 授予的“卓越成就奖(Award of Merit)”, 是首位获得该奖的华人学者, 对中国机构学走向国际前沿并在国际上占据一席之地做出了重要贡献。

[关键词] 国家自然科学基金, 持续资助, 机构学, 并联机构

机构学是机械工程领域的传统基础学科, 其主要任务是揭示机械的机构组成原理, 创造新机构, 研究基于特定性能的机构分析与设计理论, 为现代机械与机器人的设计、创新和发明提供系统的基础理论和有效实用的方法。因此可以说, 机构学的研究是现代机械装备设计的基础和发明创造的源泉, 是提高国家制造业水平和国际竞争能力的关键^[1]。

自 1969 年成立国际机构学和机器科学联合会 (IFTToMM) 以来, 机构学研究得到了迅猛发展。近 30 年, 中国机构学在计算运动学、并联机器人等领域的研究取得了显著成绩。目前业界学者一致认为国际上机构学研究主要有 3 大块阵地: 北美、欧洲和中国。一是北美, 美国机械工程师协会 (ASME) 的机构学理事会创办了 *Journal of Mechanical Design (JMD)*、*Journal of Mechanism and Robotics (JMR)* 等重要期刊; 二是欧洲, 具有代表性的学术组织是 RoMancy ARC 协会和英国机械工程师协会 (IMEchE) 等; 三是中国, 主要学术组织有中国机构学专业委员会。

中国机构学能够在国际上争得一席之地, 已愈 76 岁高龄的燕山大学黄真教授功不可没。在国家自然科学基金 (以下简称科学基金) 的持续资助下, 他 30 多年来始终致力于并联机器人机构学的研究, 取得了令人瞩目的学术成果, 并创下了许多“之最”。他是我国最早从事并联机器人研究的学者, 早在 1985 年就发表了国内第一篇并联机构方面的学术论文; 1986 年指导完成了国内第一篇并联机构学方面的学位论文; 1997 年出版了我国第一部并联机器人方面的学术专著; 先后为国内外科研院所培养了大批知名学者、专家, 被誉为“中国并联机构研究的先驱者”。因其在并联机构学方面的杰出贡献, 2010 年黄真教授获得该领域国际最权威学术组织 IFTToMM 授予的“卓越成就奖”, 成为该奖项自 2000 年颁发以来的第 5 位获奖者, 也是首位华人获奖者。

黄真教授在机构学领域所取得的研究成果也得到了国内业界的高度评价。2009 年张策教授的专著《机械动力学史》中写到: “20 世纪 90 年代初期, 黄真教授率先在中国开始了并联机器人的研究。他

本文于 2012 年 11 月 1 日收到。

提出了基于螺旋理论的自由度分析方法,解决了自 Chebyshev、Grübler 和 Kutzbach 以来困惑机构学界百余年的疑难问题;他还提出了少自由度并联机构的综合原理^[2]”。2007 年国家自然科学基金委员会出版的《机械科学基础研究 20 年》中称:黄真教授的研究是机构学领域少数几个“原创性”成果之一^[3]。

1 科学基金持续助力

系统开展并联机器人机构学理论方面的研究是并联机械装备研制的前提,基础理论研究也需要经费支持。自 1988—2011 年期间,黄真教授作为项目负责人,先后承担科学基金项目 11 项(见表 1),其中面上项目 10 项,多个面上项目被国家自然科学基金

表 1 黄真教授作为负责人承担的国家自然科学基金项目一览表

序号	项目批准号	学科代码	项目名称	起止年月
1	58770253	E0510	空间多环机构及并联式机器人机构的理论研究	1988.01—1989.06
2	68880510	F0306	全方位高灵活轻便步行机构学理论研究	1989.01—1991.06
3	59085433	E0510	具有三角平台并联式机器人机构学研究	1991.01—1993.06
4	59285041	E0510	昆虫类步行器仿生机构研究	1993.01—1995.12
5	59575043	E050101	三自由度并联机器人特殊机构性能研究	1996.01—1998.12
6	59885006	E050103	虚拟六轴机床和并联机器人机构的一般线形丛奇异理论	1999.01—2001.12
7	50075074	E050101	少自由度并联机器人及虚轴机床的机型构造理论及其综合	2001.01—2003.12
8	50275129	E050101	数目为 4 和 5 的少自由度并联机器人机构性质研究	2003.01—2005.12
9	50410205200	E05	2004 年美国机械工程学会国际设计工程技术会议(28 届美国机构及机器人双年会议)	2004.09—2004.10
10	50575197	E050101	运动链新拓扑理论和对应有特点的数据库建立机理研究	2006.01—2008.12
11	50875227	E050103	基于螺旋理论自由度计算的“Gogu 问题”	2009.01—2011.12

金委员会工程与材料科学部工程科学二处评为“优秀结题项目”。对此,黄真教授多次在报告中谈到:“回想上世纪 80 年代,我们东北重型机械学院(燕山大学前身)的老师都是从原机械工业部申请到企业技改项目资助,一般不资助理论研究的。突然我发现有个‘国家自然科学基金委员会’组织,并注意它每年都受理项目申请,我喜出望外,1987 年第一次申请就获得了资助”。黄真教授还多次指出:“科学基金十分公正,我从来没有为获得基金项目的批准而到处托人。正是国家自然科学基金委员会长期以来对我细水长流的支持,我才能取得现在的成果”。

在科学基金的持续资助下,黄真教授先后累计发表学术论文 350 余篇,其中在本领域国际著名期刊 *International Journal of Robotics Research*、*Mechanism and Machine Theory*、*Journal of Mechanical Design* 和 *Journal of Mechanisms and Robotics* 等发表 50 余篇;ASME、IEEE 等国际会议发表学术论文 80 余篇;《中国科学》4 篇及《机械工程学报》32 篇。据统计,其论文被 SCI 收录 50 余篇,单篇 SCI 他引最高达 177 次,这在本领域是少有的。已经出版的 5 部专著为我国机构学研究者提供了一个高水平的理论平台。2002 年黄真教授荣获中国机构学专业委员会颁发的首届“学术创新奖”。在 2004 年天津举行的第 11 届 IFToMM 大会上,他被推荐为 6 个中心发言人之一;先后获教育部科技奖一等奖 2 项(1991, 2005)、河北省科技奖一等奖 2 项和部省级二等奖 2 项。

2 学术之路的兴起

“30 年磨一剑”,荣誉的背后总有不为人知的艰辛和努力。1982 年,已经 46 岁的黄真教授作为访问学者赴美国佛罗里达大学留学。在那里他接触到机构学研究的最前沿,聆听了合作导师 Duffy 教授讲授的螺旋理论研究生课程。结合自己独立的思考,黄真教授很快抓住了螺旋理论的精髓,感受到螺旋理论的美妙,从此踏上了全新的机构学研究之路。

当全世界都在研究串联式机器人时,佛罗里达大学的那位教授却发表了“并联机器人”的文章。当时全美也才只有寥寥数人在这个研究方向上开展研究。“我们跟他跑吗?这个方向有前途吗?”黄真教授与当时同他一起的两位留学生陷入了深深的思索。学术界普遍认为串联机器人的活动空间大,方向变化灵活,并联机器人远远赶不上。这时,他想到

了哲学中的“对立统一律”，并联之于串联不也正是对立的事物吗？并联一定有它自己的特点和优点。就这样他选择了并联机器人方向，成为我国最早从事并联机器人研究的学者。

事实上，第二次世界大战后的半个多世纪以来，机构学研究已经从平面机构向空间机构发展、从单自由度机构向多自由度机构发展、从单纯的串联机器人和并联机器人向串并混联机器人发展、从单环运动链向多环运动链发展、从低速机构向高速机构发展、从刚性机构向柔性机构发展。伴随着这些重大的改变，机构学的领域中出现了许多新事物和同时带来许多新问题。机构学的理论研究自然应该面向这些新发展、新问题不断前进，而其中的一个核心问题便集中在“空间多自由度多环并联机构”上。并联机构是机构学的一个重要研究方向，抓住并联机构这个研究方向也就抓住了机构学发展的主要脉络，抓住了机构学发展核心问题之一。面临挑战，黄真教授抓住了机遇。

3 科学前沿铸创新

并联机构应用范围非常广泛，不仅可以作为并联机器人应用于机电工业领域，功能上与普通工业机器人互补，还在如航空航天航海、尖端武器、军工装制、机械工业、重型装备、生物工程和医疗器械、微型微动机械、娱乐装置、民用服务等多个高技术领域具有广泛的应用及发展前景。

同时，并联机器人机构结构纷繁复杂，其机构学理论方面的研究难度远远高于普通串联机器人，它是摆在机构学界面前的“一座大山”，使这古老的机构学面临严峻的挑战。简单说，并联机器人机构学的核心困难可归结于空间多自由度、多闭环系统所导致的非线性强耦合问题。由此带来这类机构在结构学、运动学以及动力学研究上的诸多特殊之处。

30 年来，黄真教授面对上述挑战，勇于创新，运用包括螺旋理论、影响系数原理等在内的先进数学工具及方法，系统地解决了并联机器人空间多自由度、多闭环系统导致的许多机构学核心困难问题。概括起来，可从以下 4 个方面来阐述黄真教授的主要创新成果。

3.1 发展形成了并联机构学系统理论

自 20 世纪 90 年代以来，黄真教授以在并联机构学方面的研究成果为基础，相继出版了《空间机构学》^[4]，《并联机器人机构学理论及控制》^[5]，《高等空间机构学》^[6] 3 部对机构学界影响深远的著作，应

IFTOMM 主席之邀完成了 *Theory of Parallel Mechanisms*^[7] (Springer 出版社 2012 年 8 月出版)。这几本书的出版形成了并联机构学系统理论，为从事相关技术研究的专家学者提供了一个高起点的平台，对有关高新技术装备的发展起到了推进作用。

研究成果在国内外影响深远。《并联机器人机构学理论及控制》一书几乎成为全国所有开展并联装置研究院所研究生的入门必读，目前该书他引已愈千次，这在机械工程领域颇为鲜见。《高等空间机构学》被广泛采用作为研究生教材，不到两年该书第一版就因销售一空而再版。

3.2 发展出“机构自由度计算的通用公式”

在机械工程领域的创新中，机构创新具有突出的地位。对任何新机构最基本的认识就是首先要知道它的自由度。传统自由度公式的最典型代表是使用了 100 多年的 Grübler-Kutzbach 公式 (G-K 公式)。然而人们陆续地发现这个公式对许多机构不适合。特别是当有广泛而重要的空间多环并联机构出现，问题就变得更加突出。许多学者都参与了研究，也不断有学者提出新的公式，然而到 20 世纪末也没有真正解决。他们提出了许多不同方法，但都达不到既具有普遍性，又简单可行的期望。

2005 年，法国 Gogu 教授系统收集了几乎全部类型的机构范例，并把它们分为古典机构和现代并联机构两类，成为“自由度开放问题”。

黄真教授以螺旋理论为工具，形成了“基于螺旋理论求解自由度的基本理论”和普遍适用的“修正的 G-K 公式”，成功地解决 Gogu 提出的所有机构，以及许多其他公认难度大的机构，其中特别是国际一致公认最困难的 Bennett 机构。方法相对简单方便。以此项成果为基础，于 2011 年出版专著《论机构自由度——寻找了 150 年的自由度通用公式》^[8]。这是一个非常重要的成果，既有理论意义又对机械创新有重要意义。

3.3 发展了“少自由度并联机构型综合理论”

首创了“约束螺旋综合理论”。机构综合上最难的是对称的 4 和 5 自由度并联机构的综合问题，好几位国际著名学者一直认为是不可能有的解的，黄真教授及其团队迎难而上，领先突破，综合出对称的 4 和 5 自由度并联机构，并形成了系统理论。著名教授 Rico 称这是国际上并联机构型综合方面 15 年来的 5 项重要成果之一^[9]。

3.4 发展了“平面机构拓扑结构数字化综合理论”

在黄真教授的指导下，他的学生丁华锋自主提

出了运动链环路代数运算理论,创立了有效的运动链同构判别理论,解决了制约机构自动综合约50年的运动链同构判别难题及机构拓扑结构的惟一数字描述问题,并首创完全数字化的“运动链拓扑图数据库”。现已实现自20世纪60年代以来一直期望得到的有效、完全自动、人机友好的“运动链自动结构综合”,为未来建立机械概念创新设计CAD软件平台奠定了有效基础。

4 人才培养结硕果

在培养研究生的过程中,黄真教授同时关注人格培养和学术创新两个方面,注意培养他们不仅能完成学位论文,还要通过学习哲学以真正学会如何能够独立从事科学研究。鼓励学生在毕业后,跳出博士论文束缚,开辟属于自己的新方向。

黄真教授热情支持青年学者的创新思想,认真听取不同意见并充分讨论,逐字逐句地帮研究生修改论文。他尽自己最大的努力把学生推向国际学术舞台,让学生参加国际学术会议,推荐学生到国外知名大学的著名教授门下深造。学生们不仅在学术上得到了黄真教授的精心指导,更可贵的是从黄真教授身上学到了求真务实、献身学术的高尚品德。

“十年树木,十载风,十载雨,十万栋梁”。自1986年培养出国内第一位并联机构学方面的硕士以来,至今已经培养硕士54人、博士22人。所带的研究生中,如今多数已是国内外大学的教授,活跃在与并联机构相关的科学研究第一线,成为本学科领域的知名学科带头人。例如,他们中1人获国家杰出青年科学基金,1人获洪堡基金资助,2人先后获全国优秀博士学位论文提名,多人为机构学领域国际核心期刊的副主编。黄真教授的学生遍布国内多所高校,并联机构的研究也在国内遍地开花。

5 结语

科学的本质是探索未知的客观规律,要想取得成绩,科学家要有“宁坐板凳十年冷”的执着精神。正如黄真教授所述:“研究首先要有新思想(new idea),依据此新思想去开展长期研究,同时写申请书申请资助。由于有些基础研究并不需要太特殊的机械装备和测试装置,花钱不多;而且“idea”又是一个个先后出现,我也就是一个一个地申请面上项目。当解决了一个问题后又会发现新的问题,研究新的问题再申请新的科学基金。不断研究,不断积累,最后也可以形成一个比较大的完整的研究成果”。

毋庸讳言,目前科技界仍存在浮躁、急功近利以及创新不足等诸多问题。作为老一辈科学家的典范,黄真教授30多年潜心研究、勤于思考,最终厚积薄发的学术之路,相信对广大科技工作者有很大的启示与鞭策作用。

“非宁静无以致远,非淡泊无以明志”,以黄真教授的研究经历与广大科技工作者共勉。

参 考 文 献

- [1] 国家自然科学基金委员会. 机械工程学科发展战略报告(2011—2020). 北京: 科学出版社, 2011.
- [2] 张策. 机械动力学史. 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [3] 雷源忠. 机械科学基础研究20年. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2007.
- [4] 黄真. 空间机构学. 北京: 机械工业出版社, 1991.
- [5] 黄真, 孔令富, 方跃法. 并联机器人机构理论及控制. 北京: 机械工业出版社, 1997.
- [6] 黄真, 赵永生, 赵铁石. 高等空间机构学. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [7] Huang Z, Li Q C, Ding H F. Theory of Parallel Mechanisms. Springer, 2012.
- [8] 黄真, 刘娟芳, 李艳文. 论机构自由度——寻找了150年的自由度通用公式. 北京: 科学出版社, 2011.
- [9] Rico J M, Cervantes-Sánchez J J, Tadeo-Chavez A et al. A comprehensive theory of type synthesis of fully parallel platforms. In: Proceedings of 2006 ASME DETC conference. (paper DETC2006-99070), Philadelphia, USA.

NSFC SUPPORTS MECHANISM RESEARCH IN CHINA TO ADVANCE TOWARDS INTERNATIONAL FRONTIER —Prof. Zhen Huang of Yanshan University achieving innovative accomplishments funded continuously by NSFC

Wang Guobiao¹ Lai Yinan¹ Ding Huafeng² Liu Xinjun³

(1 Department of Engineering and Materials Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085;

2 College of Mechanical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004;

3 Department of Precision Instruments and Mechanology, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract With the support of 11 consecutive NSFC projects, Prof. Zhen Huang in Yanshan University has

(下转第17页)

Abstract As an emerging research direction, Artificial Psychology & Artificial Emotion will be widely used in various human-computer interaction areas, such as robot, smart home, natural interaction and health etc. In this paper, according to high-caliber academic activities and many national major research projects, the whole development process of Artificial Psychology & Artificial Emotion is expounded in detail. The research results in Artificial Psychology & Artificial Emotion are objectively described from the progress of affective modeling and the production of books and papers. With the sharp rising influence of Chinese scholars in the international academia, the domestic research of Artificial Psychology & Artificial Emotion will uninterruptedly and quickly develop. In the future, the new mode of Industry-Education-Academy, which is the original innovation combined with the practical application, will be formed for marker demand.

Key words artificial psychology, artificial emotion, kansai engineering, human-computer interaction, service robot

(上接第 10 页)

made great achievements in the domain of mechanisms over the last 30 years due to his devotion to the research and his little care for personal fame and benefits. Under his successful supervision, a batch of mechanism specialists with international fame has emerged from among his students. Prof. Huang was the first person in China to start the research on the mechanisms of parallel manipulators. He has established systematic theories on the analysis and synthesis of the mechanisms of parallel manipulators. In his theory he proposed the modified G-K formulas based on Screw Theory, which solved a problem that had bewildered the domain of mechanisms for more than a hundred years since the time of Chebyshev, Grübler and Kutzbach. He developed the synthesis theory of lower-mobility parallel mechanisms. In the year 2010, Prof. Huang was presented the Award of Merit by IFToMM, the first Chinese to win this award. He has made significant contributions to the international promotion of mechanisms of China and to the international prestige boasted of by mechanisms of China.

Key words National Natural Science Foundation of China, continuous funding, mechanism, parallel mechanism

(上接第 13 页)

SCIENCE FOUNDATION PAYS ATTENTION TO NEURONAL CIRCUITS RESEARCH IN CHINA —NSFC Initiates the Major Research Plan on “Neuronal Circuits of Emotion and Memory”

Cao Heqi Zhu Yuangui Dong Erdan

(Department of Health Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085)

Abstract The formation, modification, maintenance and regulation of the neural circuits for emotion and memory are one of the most active directions of neuroscience research. The impairments of emotion and memory are associated with abnormal anatomy and dysfunction of neural circuits. Analysis of emotions and memories related to abnormal structures and dysfunctions of neural circuits in neurological and psychiatric diseases will provide a scientific basis and new ideas for a new generation of technical methods of diagnosis and treatment. National Natural Science Foundation of China (NSFC) recently initiated the major research plan “Neuronal circuits of emotion and memory”. This paper introduces the research progresses in the field of neural circuits relevant to emotion and memory in China, and the funding profiles of this research plan in the past two years are also included.

Key words emotion, memory, neuroscience, National Science Foundation of China, the major research plan