

系统控制室成立六十周年

矩阵、控制室与我¹

程代展 中国科学院系统控制重点实验室

我上大学的时候，学的是冶金系焊接专业。不过只念了一年零八个月“文革”就开始了。那时清华大学是六年制，头两年基础课，中间两年专业基础课，最后两年专业课。因此，我对焊接几近全然无知，印象最深的，只有当时的一幅宣传画：夜色下，一位年轻的女工，骑在高高的钢架上，用电焊枪击起一片灿烂的火花，下面的一行字是：“为江山添锦绣，与日月争光辉”。那是我当时克服“专业情绪”，强迫自己爱上焊接的图腾。我真正的学术之路是从来到控制室开始的，而这，又离不开我的“矩阵”情缘。

1. 初识矩阵，从偷书开始

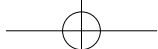
中学时代，很喜欢数学。那时学校的目标是数学竞赛，因此，在老师指导下，虽做了不少题，却对数学十分无知，看过一本小册子《什么是微

积分》，知道除了中学数学，还有微积分。高二时数学教研组想让我参加福建省高三数学竞赛，但后来任课老师告诉我，政审没通过，只好作罢。高考填表时，想报清华数力系。班主任直接把专业改成冶金系，他告诉我，我上不了数力系，当然也是政治原因。我在中学是有名的“问题学生”，自己也明白这一点。

进了清华，冶金系只修微积分，用的教材是清华大学自己编的《高等数学》上、下册。大学的一年八个月，我从“问题学生”一跃成为“红专典型”，不但入了团，当上班上的学习委员，还是入党积极分子……《新清华》还介绍过自己。那时，为了克服自己不安心于焊接专业的情绪，我把中学对数学、物理的兴趣完全抛开了。

文革开始，我成了保皇派，死保校党委和蒋南翔。不久，工作组进校，校教务处的大字报半

¹ 为中国科学院系统科学研究所系统控制室成立60周年而作。



点名我为“福建反动学生，因考分高被蒋南翔拉进清华的”，于是万念俱灰，成了心惊胆战的逍遥派。

同宿舍的一位好友知道我平常喜欢看书，一天，跑来跟我说，学校出版社被造反派砸了，扔了一地的书……傍晚，我乘暮色跑到清华园西北小树林后边的出版社仓库，果然见大门洞开，许多新书一直散落到仓库门前的小路上。我看四处无人，就蹑进库内。一番寻觅，找了两本书，一本是《高等数学(2)》，一本是《英语(二外教材)》。我把它们藏到外衣里边，偷偷溜回宿舍。倒不是怕人说我偷书——因为此时大家都把这些书当垃圾了，而是怕人说我还想读书。就是这两本书，成了我文革中的精神寄托。

从《高等数学(2)》的前言中知道，这是给清华需要数学较多的五个保密系：数力系、工物系、化工系、无线电系和自动化系学生用的。这本书有四部分：(1) 线性代数，(2) 复变函数，(3) 常微分方程与拉普拉斯变换，(4) 数学物理方程。或许是以前没有注意，我觉得自己是第一次知道，微积分之外，还有这么多数学。翻开此书的第一部分，我第一次听到“矩阵”这一名词。

我开始偷偷地读这两本书，读书的地点是圆明园的废石岗的后面。那时的圆明园是一片无人问津的废墟，这里荒凉而静谧，与喧嚣的清华园相比，真成了世外桃源。《高等数学(2)》看得很快，不久就看完了。不过，它让我开阔了眼界，接触到了微积分之外的一片数学世界。当然，后来知道，这些不过是初等数学。离近代数学还很远。

还是回来说矩阵吧，由于有了《高等数学(2)》的基础，我就开始注意相关的数学书。后来，从西单旧书店淘到一本周伯勋写的《高等代数》，那本书我是从头到尾读完了，并且把习题一道题不拉地做了一遍。这使我对矩阵有了较多的认识。学校武斗期间，我在物资部工作的姐姐从物资部

借了一间宿舍让我住，这给了我一个很好的读书环境。我从线性代数开始，还自学了北大出版的《复变函数论》，王柔怀、伍卓群编的《常微分方程理论》……

从初一开始到文革前，我学了八年俄语。文革开始的时候，我的英语知识只是知道数学中常用的几个字母。《英语(二外教材)》是我学英语的真正起点。我的语言能力很差，但是，由于坚持，到文革结束后考研时，我选了英语，居然考了80分，也算差强人意。

1970年毕业，因为当时清华大学要办汽车厂，需要人，特别需要动农系、冶金系、机械系的学生，又兼当时规定，两派头头不得留校，而我们班级又是造反出名的班，头头多。最后，我班一位准备让他留校的同学绝食三日拒绝留校。于是，阴差阳错，我居然留校了。后来去了江西鲤鱼洲清华农场。农场回来后，由于大批工农兵学员入学，需要大量教师，我和十来位新工人——当时对70年毕业留校的“八百子弟兵”的称谓——被分到了数学教研组。教研组给我们培训，这是文革开始后第一次可以合法地看业务书了。最先开始培训的是数学分析，我们这批人有三位来自数力系，还有一位工物系提高班的，加上我们几位，数学基础都不错。进展很快，大大出乎教研组的估计。于是，教研组主任栾汝书教授亲自出面给我们培训。栾先生的专业是代数，他开始给我们上线性代数，用的是北大的教材。我因为自己自学过一遍，大有轻车熟路之感。后来，栾先生还给我们上了一段近世代数。只讲了群和环，虽不太系统，但也收获不浅。通过这段培训，我对矩阵算是比较熟悉了。这期间正赶上邓小平“右倾复辟”，整顿教育，清华还招了一批研究生，有一段时间学术环境还是不错的。当时数力系黄克智教授给他们系新工人讲授数学物理方程，我们也去旁听了。



黄先生课讲得很生动，我受益匪浅。不过有一次，黄先生讲到付立叶展开求解时，问学生公式没人答腔，他有点不满地说，他自己三角函数公式都能记得。我在底下小声嘀咕：“你是天才。”大家哄堂大笑。当时因林彪事件后，“天才”几成贬义词。黄先生脸红了，瞪了我一眼，但仍很有修养地继续讲课。后来想起，多少有点歉疚。不过当时心里在想，三角公式我也背得出来。现在想来，到数学教研组后，多少有点如鱼得水的快感。但当时只想把数学看作当老师的工具，并未把它当作自己的专业。

2. 考上研究生、初进控制室

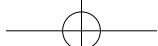
文革结束后，中国社会一派欣欣向荣，旧貌换新颜。1977年9月，人民日报登出科学院试办研究生院的消息。文革后的第一届研究生，虽然有工农兵学员，有在校大学生，还有自学成材者，但最多的还是我们老五届，即文革前入大学，文革中毕业的学生。我报考当时数学所控制专业关肇直先生的研究生。其实我对控制专业一无所知，之所以报考先生，一是因为原清华大学数学教研组的栾汝书教授与孙念增教授的极力推荐，另一个原因，是因为控制专业当时只考数学分析与线性代数这两门专业课。和许多老五届同学的坎坷经历相比，我其实是很幸运的。文革中相对而言浪费的时间较少，还有机会接触业务。据我所知，当时几乎所有数理学科的研究生都要考数学分析，而线性代数就算这个专业的特殊要求了。不管初试复试，我的线性代数部分还都考得不错。这让我这个学焊接出身的学生在数学专业200选4的残酷竞争中幸运入围。或许可以说，“矩阵”成了我进入数学所的敲门砖。当时数学教研组培训班同我一起考上科学院研究生院的还有薛伟民，他原是数力系提高班的，考上计算中心。临离开清

华时，经薛伟民提议，我们一起编了一本《线性代数习题解答》。习题主要来自法捷耶夫的《高等代数习题集》，北京大学《线性代数》一书中的习题和其他一些线性代数教材中的习题。这件事得到栾先生的赞许和支持，当时并未想到出版，只想为报答教研组的培训之恩，为教研室做点贡献。后来，经栾先生修订编辑，该习题解答成为当时清华研究生的参考资料。在这个过程中，我也加深了对矩阵的了解。

1978年考入数学所研究生时，我已经32岁。虽说过了而立之年，起点低，出家晚，但历经蹉跎，最终还能从事自己喜欢的专业，心中还是很庆幸的。

到控制室后，第一个感觉是心里发怵，底气不足。先说同学罢，大师兄谢惠民，本是复旦大学数学系讲师，师弟称他是“成名人物”。主要是指在当时中译本的庞特里亚金名著《最优过程的数学理论》一书中，有一注译，说原著有一处错误，是谢惠民指出的。他后来是文革后中国第一批博士。二师兄刘嘉荃，据说是原中国科技大学的关先生得意弟子，文革中与关先生一直有学术联系。就是比我小两岁的师弟曾晓明，也不是一般人物。他是东北大学数学师资班在校本科生直接考过来的。他父亲是大学数学教授，他的数学多是在其父指导下自学出来的。我从中学到大学，坐惯了头把交椅，这次突然遇到高手如林，多少有点自惭形秽。不过，室里同学间关系还是很好的。一次关于线性系统的问题，我不明白，请教谢惠民。他当场给我解说。可能怕我没听懂，第二天递给我一张纸片，将证明详细写出。前两天翻旧笔记本，那纸条居然还在。

再说室里的老师，当时的感觉，个个功夫了得、深不可测。当时，室里为我们开了个线性系统讨论班，主要由许可康老师讲授。他年轻倜傥，口



齿清晰，板书整洁。还参加一个由陈翰馥老师主持的随机过程讨论班，除陈老师外还有赵忠信授课，听他们的讲课，感觉他们的学问都有点高不可攀的深奥。那时的研究生没有课时的要求，关先生不主张多修课，我除了必修的英语和政治课外，只修了三门课。关先生的《泛函分析》，殷涌泉老师的《实变函数》，还有曾肯成老师的《抽象代数》。他们都是名师，这些课程，让我第一次接触到了近代数学。

在控制室研究生学习的三年，也跟矩阵关联密切。当时理解“现代控制系统理论”的主体就是“线性系统的控制理论”。用二师兄的一句话：“线性系统理论就是高等矩阵论。”学习线性系统理论的确加深了我对矩阵论的理解。关先生给我的第一个题目还是跟矩阵有关，当时让我考虑区间系统的能控性。区间系统是指参数矩阵 A ， B 属于某个区域。记得当时对二维的情况给了一个充分条件。关先生说我的方法很难推广到一般情况去。还提醒我要把区间矩阵当作矩阵集合来处理。这个思想对后来我考虑矩阵半张量积在潜意识上或许有一定影响。粗略地说，矩阵是把一组数放到一起考虑，而矩阵半张量积则是把一组矩阵放到一起考虑。后来，因为军工项目的需要，我就跟贾沛章老师到海军航空兵部队做潜艇滤波的项目去了。

关先生帮助年轻科研人员修改文章写书，自己不肯留名的故事很多。也许是在关先生的言传身教下，当时控制室的老师做科研工作淡泊名利的事迹屡见不鲜。印象深刻的一件事是，我跟贾老师用数字滤波的方法设计飞机用超声波探测潜艇的信号处理。经过几个月的痛苦和失败后，还是贾老师首先想到可能的问题所在，最后才得到比较令人满意的滤波器设计方法。硕士论文完成后，我就匆匆出国去了。后来，贾老师将这些内

容整理，写成论文，投稿。直到论文发表，我才知道这件事。这篇论文，是我生平发表的第一篇论文。工作是我在贾老师指导下与贾老师合作完成的，而论文写作、投稿、修改，则完全是贾老师一人的功劳。但最后，论文的作者却只有我一个人。这件事给我的震动很大。后来跟学生相处，我常常想起贾老师。

3. 出国读博的四年

我出国读博，虽属“自费公派”，但其实是控制室派我出去的。大约从 1980 年开始，科学院的研究生就有申请美方奖学金自费出国留学的了。但我因语言原因，特别是口语太差，不敢作如是想。到 1981 年我们临毕业时，美国华盛顿大学谈自忠教授通过陈翰馥老师，表示愿意接受系统所两名研究生。当我被通知准备派我和曾晓民去的时候，我除了惊喜，还有忐忑，因为完全不知应如何办理。当时所有的前期手续都是陈老师一手包办的。三封推荐信分别是关先生、吴文俊先生、许国志先生写的，也是陈老师帮联系的。等收到 IAP66 表以后，从护照、签证、体检、办学习班到治装、购买飞机票，一切都是统一由科学院组织办理的。除美方华盛顿大学提供奖学金算“自费”外，其他一切均按“公派”处理。

华盛顿大学的四年，是我真正在数学上得到系统培训的四年。我当时在系统科学与数学系，虽然系的名字里有数学，但其实，它属于工学院 (Engineering School)，系里的课程，有线性系统，非线性系统 (几何理论)，数值方法，概率论，随机过程等。选课比较自由，因此，我选了许多数学系博士生的课，包括：《拓扑一》《拓扑二》《微分流形一》《微分流形二》《泛函分析》《近世代数》《代数几何》。我的所有课程成绩全优，平均分 (GPA) 4.0/4.0。(见图一，带防伪的成绩单)。博

当年一起留校的同学，号称八百子弟兵，都和我一样住筒子楼。比我们老的一批中年教师，住房条件也好不了多少。作为学成归国的博士，现在我有特殊待遇：系领导开始帮我联系住房。当时学校正开始大力扩建住宅楼，但整体住房情况仍然十分紧张。况且，当时对我可以享受比同



我后来没有回到清华，却到系统所控制室报到

图1 带防伪的成绩单

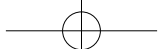


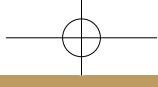
图2 控制室在昌平凤凰山度假村为我办了个Party

龄人高的住房标准许多人还难以接受——几十年来形成的平均主义在大家头脑中仍然根深蒂固。学校房管处的官员似乎在心不甘、情不愿地帮我找房子。而系领导则要求我尽快报到。

大约一周之后，陈老师到我家，带着新房的钥匙，要我先去看房子。这是中关村12号楼的一套两居室的房子，有自己的厨房、厕所、阳台、还有一个比走廊略宽一点的小厅可作饭厅。空旷的新房子，洁白的墙壁配上淡蓝色的窗框，在阳光下显得那样明亮清澈，未曾冲净的地面散发着水泥的清香……从筒子楼里走出来的我，对着眼前的宜人新居不禁心头怦然——只要我一点头，这一切就都属于我了。既挡不住陈老师的规劝，

也经不起新房的诱惑，我终于接过了新房的钥匙。厚着脸皮婉拒了清华老师的再次挽留，我终于到科学院报到了。”

从此，我就真正成了控制室的一员。我的后半生，喜怒哀乐以及一生的学术追求都与控制室密不可分。控制室的光辉历程我讲不好，老师们和同事们对我的好也讲不完，而自己这大半生的人生故事也不宜在这儿讲。十年前，为纪念控制室成立五十周年，室里要求每个人写一句话。我写的是：“在这个群体里生活，有快乐、有感动，也有委屈、有伤感，但最难以释怀的是，那一份浓浓的‘家’的归宿感。”这是我的真情实感。我六十岁生日时，控制室在昌平凤凰山度假村为我



办了个 Party。图 2 是当时拍的一张照片。

5. 矩阵半张量积

1996 年，在海外游荡数年后我最终回到系统所控制室。特别感谢陈翰馥老师，他作为当时的所长，力排众议，为我回归创造了条件。因为脱离学术圈数年，刚回到室里时面临许多问题，包括基金、学生、课题等。当时，秦化淑老师给了我许多帮助。因为过了当年国家自然科学基金项目申请时间，在秦老师帮助下，申请了一个回国人员基金，解了燃眉之急。同样，因误了当年招生日期，秦老师乘到郑州大学参加硕士答辩之便，让我出题，通过补试招了一位博士生（席在荣）。最后是课题。当时控制室和清华大学电机系卢强老师有合作。秦老师带我去和卢老师谈了几次。卢老师当时的主要工作是电力系统的微分几何控制理论。他认为微分几何理论不便于计算机计算，我们讨论的结果是希望发展出一套微分几何的计算机算法，当时把它称为“代数化几何方法”，关键是计算多线性映射，这就是矩阵半张量积方法的开始。随后我们同卢老师合作，申请了一个国家自然科学基金重点项目《电力系统非线性鲁棒稳定控制代数化几何方法及工程应用》。以此为契机，我们发展了一套比较完整的矩阵半张量积的算法，它的主要优点是将普通矩阵乘法推广到任意两个矩阵，从而使多线性运算矩阵化。并且，以矩阵半张量积为工具，研究以电力系统为代表的非线性系统微分几何方法的基于矩阵的代数算法及其计算机实现。卢老师及梅生伟教授等，还将有关结果应用到三峡水库发电机组的控制中去。后来，梅生伟教授等将相关研究成果写入《电力系统暂态分析的半张量积方法》一书^[1]。电力系统专家程时杰院士在序言中指出：“程代展教授与卢强院士、梅生伟教授多年来一直在电力系统非

线性控制领域精诚合作，该书的主要内容是又一个里程碑式的结果。”2008 年，由于这些工作，我与前学生洪奕光、席在荣、王玉振一起获得了国家自然科学基金二等奖。我还于 2006 年及 2008 年被国际控制界最重要的两个组织——IEEE 控制系统协会（CSS）和国际自动控制联合会选为它们的会士（IEEE Fellow，IFAC Fellow）。

2008 年初，控制室与瑞典皇家工程学院等单位在香港举办了第四届中瑞控制会议。会议期间，清华大学赵千川教授报告了一个关于布尔网络的结果。我在早期的矩阵半张量积的工作中，曾经将逻辑运算表示为半张量积乘法。这个工作当时只是作为一种数学游戏，虽未发表，但写入了 [2] 中。此时脑袋中一闪，觉得这种代数表示可望解决赵教授提出的关于计算布尔网络不动点、极限环的计算问题。当晚，我单独请教了赵教授，进一步明确了问题。2008 年春节，我以逻辑系统的矩阵半张量积表示为基础，一下子给出了布尔网络与布尔控制网络的代数状态空间的表示方法，从而不仅给出了计算布尔网络不动点、极限环的公式，更进一步考虑了布尔控制网络的能控性、能观测性等控制问题。那个春节假期，从大年三十到初五，我足不出户，一口气写了三篇长文。分为 Part 1—Part 3 投 IEEE TAC。被拒后，在齐洪胜帮助下，改写成三篇文章，分投三个期刊，后均以长文发表^[3,4,5]。这就是基于矩阵半张量积的布尔网络控制理论的雏形。

逻辑动态系统的代数状态空间控制理论得到国内外同行的高度认可。IEEE 控制系统协会 2015 年主席，意大利教授 Valcher 在他们最近的一篇应用矩阵半张量积的论文中指出：“由程代展和他的合作者提出的布尔控制网络的代数方法为基于逻辑网络的控制问题的建模和解决提供了一个非常成功的工具。的确，矩阵半张量积

通过用单位向量表示状态,将布尔控制网络表示为线性状态模型。这种方法把时不变线性状态空间发展起来的经典概念和方法移植到布尔控制网络上,使得布尔控制网络的一系列性质和控制问题可以用基于矩阵的方法解决。这些问题包括:稳定性与镇定、能控性、干扰解耦、能观性与能重构性、故障检测、及最优控制。(The algebraic approach to Boolean control networks proposed by D. Cheng and co-authors has offered a very successful tool to formulize and solve control problems in the context of logical networks. Indeed, the semi-tensor product of matrices allows to represent BCNs as linear state models whose describing variables are canonical vectors. In this way, classical concepts and methods developed for linear time invariant state-space models have been tailored to BCNs, thus leading to matrix based characterizations for a number of properties and control problems, such as stability, stabilizability, disturbance decoupling, observability and reconstructability, fault detection, and optimal control.)^[16]。类似的评价甚多。

Automatica 和 IEEE TAC 是控制领域公认的两个顶级杂志。我和学生合作,近年在这两个杂志上发表的关于矩阵半张量积的长文 (Regular Paper 和 Full Paper) 计有 15 篇^[3,4,17-29]。还出版了关于矩阵半张量积的 8 本专著和 1 本教材 (见图 3)。

论文 [3] 获得了国际自动控制联合会颁发的其旗舰杂志 Automatica 2008—2010 三年一篇的理论/方法最佳论文奖,这是到目前为止唯一由华人学者完成的获得该奖项的论文。

由于这项工作,我和学生齐洪胜在 2014 年再度获得国家自然科学二等奖。我本人还获得了中国科学院 2015 年个人杰出科技成就金质奖章。

矩阵半张量积理论从它诞生的第一天起就受

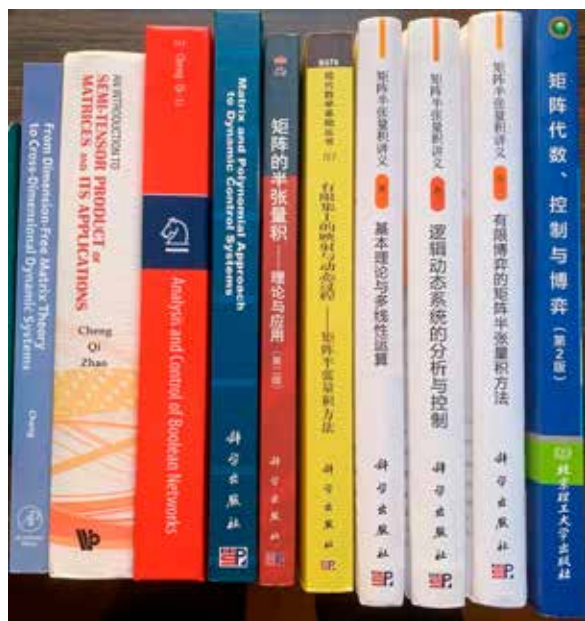
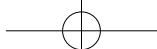


图3 关于矩阵半张量积的 9 本专著和 1 本教材

到控制室领导以及许多老师的支持和帮助。陈翰馥老师在许多场合为矩阵半张量积呼吁支持。秦化淑老师也尽力宣传过。2011 年,受《科学通报》主编夏建白院士邀请,我们写了一篇“特邀评述”:《矩阵的半张量积:一个便捷的新工具》^[6]。交稿后,夏主编还专门邀请郭雷院士写了一封评述^[7]。

我在矩阵半张量积的后续研究大体可分为三个部分。第一部分是逻辑动态系统。这部分前面讲了许多,它仍然是矩阵半张量积研究最活跃的一个分支。大量年轻人的加入,新的结果层出不穷,早已让它旧貌换新颜,自己有时都感到赶不上。第二部分是有限博弈,这个方向也发展很快。自己最近同几个年轻人一起写了篇综述,对矩阵半张量积方法在有限博弈中的应用做了个回顾^[8]。虽然不全面,但也大致可以看出这方面的丰富成果和巨大的发展潜力。第三部分是变维数动态系统的研究,这是目前自己研究的重心。它用到许多近代数学的工具,如代数中的群、环、域和格



等,分析中的内积、范数、算子模等。还涉及自然拓扑、商拓扑、距离拓扑等多种空间拓扑。特别是,它需要微分流形、纤维丛、黎曼几何等结构。最后,作为变维数动态系统的状态空间,我们提出一个全新的微分几何结构:泛维流形。这些研究,让矩阵半张量积理论与近代数学融为一体,这是矩阵半张量积理论研究的深水区,目前参与其中的学者还较少。这方面的代表性工作可参见我 91 页的长文^[9],以及专著^[10]。

目前,国内有许多学者用矩阵半张量积方法从事不同方面的研究,在 2021 年控制理论专业委员会逻辑控制学组的年度工作报告中提到,据不完全统计,目前国内有超过 50 个高校有学者从事与矩阵半张量积相关的科学研究,包括:清华大学、北京大学、山东大学、南开大学、同济大学、哈尔滨工业大学、大连理工大学、中南大学、浙江大学、香港大学、香港城市大学等。图 4 是聊城大学的“矩阵半张量积理论与应用研究中心”。国际上,有 40 多个研究团队,分布在 20 多个国家的学者参与基于矩阵半张量积的研究,包括:意大利、以色列、日本、南非、新加坡、美国、英国、德国、俄罗斯、新加坡、南非、澳大利亚、沙特阿拉伯、泰国、巴西、韩国等。

目前,这个方法已被应用于 (i) 生物系统与生命科学:如 T- 胞受体布尔控制网络模型,给出寻找它所有吸引子的有效算法;关于大肠杆菌乳糖操纵子网络稳定与镇定控制的设计;对黑色素瘤的转移控制等;(ii) 博弈论:如网络演化博弈的建模和分析,最优策略与纳什均衡的探索,有限势博弈的检验与势函数计算等;(iii) 图论与队型控制:如图形着色及其在多自主体控制中的应用,队型控制的有限值逻辑动态系统表示,超图着色及其在存储问题中的应用,图形着色的稳健性及其在时间排序中的应用等;(iv) 线路设计与故障检测:

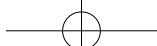
如 k- 值逻辑函数的分解,隐函数存在定理,故障检测的矩阵半张量积方法等;(v) 模糊控制:如模糊关系方程的统一解法,带有偶合输入和 / 或偶合输出的模糊系统控制,对二型模糊关系方程的表述和求解,在并行混合动力汽车控制中的应用,空调系统的模糊控制器设计等;(vi) 有限自动机与符号动力学:如有限自动机的代数状态空间表示与可达性,语言识别,有限自动机的模型匹配,有限自动机的可观性与观测器设计,布尔网络的符号动力学方法,有限自动机的能控性和可镇定性等。(vii) 编码理论与算法实现:如对布尔函数微分计算的研究,布尔函数的神经网络实现,非线性编码等。(viii) 网络查询与遥操作:如公交网



图4 矩阵半张量积理论与应用研究中心

络的查询,网络遥操作系统等。它也在电力系统控制,混合动力汽车控制,智能房屋设计等工程问题中得到卓有成效的应用。

为了给矩阵半张量积理论与应用研究做一个阶段性总结,我从 2019 年开始,与几位学生合作,着手编写一部丛书:《矩阵半张量积讲义》卷一至卷五^[11,12,13,14,15],目前尚在进行中。



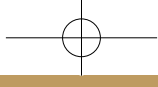
常常有人问我：“矩阵半张量积到底能用到什么地方？”我想，也许希尔伯特的一句话能帮我回答这个问题。希尔伯特说过：“数学中每一步真正的进展都与更有力的工具和更简单的方法的发现密切联系着，这些工具和方法同时会有助于理解已有的理论，并把陈旧繁烦的东西抛到一边。数学科学发展的这一特点是根深蒂固的。因此，对于个别的数学工作者来说，只要掌握这些有力的工具和简单的方法，他就有可能在数学的各个分支中比其他科学更容易地找到前进的道路^[30]。”我们正是提供了矩阵半张量积这一有力工具和对有限值变量的代数状态空间方法，相信掌握了这一有力工具和简单方法，会在应用矩阵方法的各种问题中“更容易找到前进的道路”。

矩阵半张量积走过了二十多年的历程，它从产生到成长，都离不开控制室乃至数学院的支持，离不开国内众多学者特别是年轻学者们的辛勤耕耘，以及许多国际同行的共同努力。这是真正中国人原创的并引领国际相关研究的一个全新的学科方向。

值此控制室成立六十周年之际，仅以此文表达本人对控制室的感恩和衷心的周年祝贺！

参考文献

- [1] 梅生伟、刘铎、薛安成. 电力系统暂态分析的半张量积方法，清华大学出版社，北京，2011.
- [2] 程代展、齐洪胜. 矩阵半张量积——理论与应用，科学出版社，北京，2007.
- [3] D Cheng, H Qi. Controllability and observability of Boolean control networks, *Automatica*, 2009, 45(7): 1659–1667.
- [4] D Cheng, H Qi. A linear representation of dynamics of Boolean networks, *IEEE Trans. Aut. Contr.*, 2010, 55(10): 2251–2258.
- [5] D Cheng, H Qi. State space analysis of Boolean networks, *IEEE Trans. Neural Networks*, 2010, 21(4): 584–594.
- [6] 程代展、赵寅. 矩阵的半张量积：一个便捷的新工具，*科学通报*，2011，56(32): 2664–2667.
- [7] 郭雷. 评‘矩阵的半张量积：一个便捷的新工具’，*科学通报*，2011，56(32): 2662–2663.
- [8] D Cheng, Y Wu, G Zhao, S Fu. A comprehensive survey on STP approach to finite Games, *J Sys Sci Compl* 2021, 34(5): 1666–1680.
- [9] D Cheng. On Equivalence of Matrices, *Asian J. Math*, 2019, 23(2): 257–348.
- [10] D Cheng. From Dimension–Free Matrix Theory to Cross–Dimensional Dynamic Systems, Elsevier, UK, 2019.
- [11] 程代展、齐洪胜. 矩阵半张量积讲义（卷一）矩阵半张量的基本理论与算法，科学出版社，北京，2020.
- [12] 程代展、齐洪胜. 矩阵半张量积讲义（卷二）逻辑系统的矩阵半张量积方法，科学出版社，北京，2022.
- [13] 程代展、李长喜、郝亚琦、张潇. 矩阵半张量积讲义（卷三）有限博弈的矩阵半张量积方法，科学出版社，北京，2022.
- [14] 程代展、纪政平. 矩阵半张量积讲义（卷四）有限及泛维动态系统，科学出版社，北京。（排版中）
- [15] 程代展、冯俊娥、钟江华、吴玉虎、张奎泽. 矩阵半张量积讲义（卷五）工程及其他系统的应用，科学出版社，北京。（已完稿）
- [16] E Fornasini, M E Valcher. Reconstructability of



- Boolean control networks via state feedback, IEEE Trans.Aut.Contr(to appear).
- [17] D Cheng, Z Li, H Qi. Realization of Boolean control networks, Automatica, 2010, 46(1): 62–69.
- [18] D Cheng. Disturbance decoupling of Boolean control networks, IEEE Trans.Aut.Contr, 2011, 56(1): 2–10.
- [19] Y Zhao, Z Li, D Cheng. Optimal control of logical control networks, IEEE Trans.Aut.Contr, 2011, 56(8): 1766–1776.(SCI)
- [20] D Cheng, Y Zhao. Identification of Boolean control networks, Automatica, 2011, 47(4): 702–710.
- [21] D Cheng, X Xu. Bi-decomposition of multi-valued logical functions and its applications, Automatica, 2013, 49(7): 1979–1985.(SCI)
- [22] D Cheng. On finite potential games, Automatica, 2014, 50(7): 1793–1801.(SCI)
- [23] D Cheng, F He, H Qi, T Xu. Modeling, analysis and control of networked evolutionary games, IEEE Trans.Aut.Contr, 2015, 60(9): 2402–2415.
- [24] K Zhang, T Liu, D Cheng. Observability of finite labeled transition systems, IEEE Trans.Aut.Contr, 2018, 63(6): 1591–1602.
- [25] D Cheng, T Liu. From Boolean game to potential game, Automatica, 2018, 96: 51–60.
- [26] Y Yu, J Feng, J Pan and D Cheng. Block decoupling of Boolean control networks, IEEE Trans.Aut. Contr, 2019, 64(8): 3129–3140.
- [27] C Li, Y Xing, F He, D Cheng. A strategic learning algorithm for state-based games, Automatica, 2020, 113: 108615.
- [28] D Cheng, Z Ji. Weighted and near weighted potential games with application to game theoretic control, Automatica, 2022, 144: 110303.
- [29] D Cheng, L Zhang, D Bi. Invariant subspace approach to Boolean (control) networks, IEEE Trans. Aut.Contr, (on line) 10.1109/TAC.2022.3175248.
- [30] C Reid. Hilbert, Springer-Verlag, New York, 1996, 袁向东、李文林译《希尔伯特——数学世界的亚历山大》，上海科技出版社，2001。



【作者简介】程代展，清华大学本科毕业，中科院数学与系统科学研究院硕士，美国华盛顿大学博士。研究兴趣包括：非线性系统微分几何控制理论，哈密顿系统，多自主系统，布尔网络控制，有限博弈等。发表论著 17 本，期刊论文 300 余篇，会议论文 170 余篇。曾任中国自动化学会理事，控制理论专业委员会主任，国际自动控制联合会 (IFAC) 会士，理事，IEEE 会士，IEEE CSS 执委会成员。两次领衔获国家自然科学二等奖 (2008, 2014)，并获中国科学院杰出科技成就奖 (个人) 金质奖章 (2015)。此外，还获省部级一等奖 2 次，二等奖 5 次，三等奖 1 次。论文曾获由 IFAC 颁发的其旗舰杂志 Automatica 三年一篇的最佳理论 / 方法论文奖 (2008—2010)，为迄今唯一由华人学者完成获该奖的论文。