

# 中国现代控制理论的开拓者——关肇直\*

程代展 冯德兴 中国科学院数学与系统科学研究院



关肇直，1919年2月13日生于天津。1936年考入清华大学土木工程系，1938年转入燕京大学数学系。1941年毕业，后留校任教。1946年转到北京大学任教。1947年加入中国共产党，并经党组织批准赴法留学。1949年回国，参与中国科学院组建工作，为中国科学院首届党组成员之一。历任中国科学院数学研究所副研究员、研究员、副所长等职。1979年组建中国科学院系统科学研究所并任所长。曾任中国数学会秘书长、中国自动化学会副理事长、系统工程学会理事长，1981年当选为中国科学院学部委员（院士）。1982年11月12日病逝于北京。

他开创性地揭示出泛函分析中“单调算子”的思想，证明了求解希尔伯特空间中非线性方程的最速下降法的收敛性。他应用抽象空间中线性算子的谱扰动理论，给出平板几何情形的中子迁移算子的谱的确切结构，并指出本征广义函数组的完整性。

从20世纪60年代开始，他全身心地投入现代控制理论的研究及其在中国的推广。他提出细长飞行器弹性振动的闭环控制模型，开创了分布参数系统理论的一个新方向。他用线性算子紧扰动方法，证明了一类无穷维系统的能控性与能观测性。他主持的课题“现代控制理论在武器系统中的应用”和“我国第一颗人造卫星的轨道计算与轨道选择”获1978年全国科学大会奖；“飞行器弹性控制理论研究”获1982年国家自然科学奖二等奖；他还主持了“尖兵一号返回型卫星和东方红一号”项目中轨道设计、轨道测定和地面站配置等三个课题，该项目获1985年国家科技进步特等奖，关肇直个人被授予“科技进步”金质奖章。

为推广现代控制理论，他踏遍了祖国的山山水水。在他的领导、组织和推动

\* 转载自《系统与控制纵横》2014年第2期。

下，中国有了第一个控制理论研究室，第一次“全国控制理论与应用”会议，第一本《控制理论与应用》杂志……他是中国现代控制理论的开拓者，一位杰出的先驱者。

## 一、炫目的生平

关肇直原籍广东省南海县。父亲关葆麟早年留学德国，回国后任铁道工程师。母亲陆绍馨毕业于北洋女子师范大学，曾任教于北京女子师范大学。出生于这样一个书香门第，他从小受到良好的文化熏陶。当他十一岁的时候，父亲因病去世。从此，生活的重担就落在了他母亲的身上。她以微薄的工资艰难地抚育关肇直和他的弟弟妹妹。母亲对他们的教育尤为重视，让他们个个读书成才。出于对母亲的感激，关肇直一生侍母甚孝，此是后话。

关肇直从小跟父母学习英语和德语。1931年考入英国人办的北京崇德中学。学校对英语要求十分严格，因此，关肇直英语极佳。加上他的语言天分，日后他还熟练掌握了德语、法语、西班牙语、俄语等多种外语。1936年高中毕业，他考入清华大学土木工程系。一年后因病休学。休学期间，为打发时间他读了一些数学书，无意间对数学产生了浓厚的兴趣。身体康复后，他转入燕京大学数学系学习。

关肇直兴趣广泛，博学多才，有很好的哲学、历史和文学素养，加之能言善辩，常常语出惊人，因此深得同学们的钦佩，称他为“关圣人”。他有着惊人的记忆力，读过的书籍、文章几近过目不忘。同事们经常为一些学术问题，甚至哲学、历史、天文、地理等杂学讨教于他，他总能旁征博引，详加解说，直到你满意。有时，他甚至会让你，这个问题在某书或某杂志的哪一页可以找到答案。博闻强记至此，令人叹服。

1941年他大学毕业，由于成绩优异，留校任教。那时，正是日寇侵略、国土沦丧、抗日烽火燃遍祖国大地的年代。不久后，他与燕大师生一起，不得不离开北平，负岌西行，颠沛流离。他一边治学，一边积极参加中国共产党领导的抗日救亡运动。他曾代表进步师生，在“读书与救亡运动”问题上与当时燕大校务长司徒雷登公开辩论。他的胆识与见地、敏捷的反应和流畅的英语，折服和影响了一大批师生。司徒雷登也十分器重他的才华，为了让他放弃其政治理想，司徒雷登于1945年亲自推荐他到美国华盛顿大学留学。出乎意料的是关肇直在收到他的推荐信后，回了一封长信，不仅谢绝了他的推荐，同时愤怒谴责了美国的对华政策。不久后，在司徒雷登的推荐下，美国国务院直接授予了他一份优厚的奖学金，但他仍不为所动。1946年，他离开燕京大学到北京大学数学系任教。次年加入了中国共产党。为

了储备未来的建设人才，这一年，经党组织批准，他通过考试取得了赴法留学资格。在巴黎大学庞加莱研究所，他跟随一般拓扑学和泛函分析奠基人 M. Frechet 学习泛函分析。此后，泛函分析成为他终生致力的学科之一。同时，作为中国共产党旅法支部的成员，他积极参加革命活动，他是党领导的左翼统战组织“中国科学工作者协会”旅法分会的创办人之一，在法国组织和团结了一批优秀的爱国知识分子开展反蒋民主运动，其中包括著名的科学家钱三强、吴文俊等。

1949 年中华人民共和国成立的春雷令他欣喜万分。想到新中国百废待兴，急需人才，一种革命者的使命感使他毅然谢绝了导师和朋友们的挽留，放弃了取得博士学位的机会，漫卷诗书，束装回国。回国后他就全身心投入中国科学院的筹建工作。他是中国科学院首届党组成员。当时中国科学院图书和外文资料散失严重，亟待整理，他担任了首任院编译出版局处长（当时无局长）、图书管理处处长、图书办公室主任等职。凭着工作热情和外语优势，他很快使混乱的图书资料管理走上了正轨。1952 年他参与了中国科学院数学研究所的筹组工作。此后，在数学研究所历任副研究员、研究员，从事他渴望已久的数学研究工作。

他还兼任数学所党组成员、党委书记、副所长等领导工作。他在科研工作中提出“要为祖国建设服务、要有理论创新、要发扬学术民主、要开展学术交流”的四条原则。他强调理论联系实际，重视学科发展的实际背景，强调应用数学的重要性。我国有关数学发展的许多重要方针、措施，均与关肇直的学术思想有关。他与华罗庚等老一辈数学家一道，为中国数学的发展做出了自己的贡献。

1962 年，正当现代控制理论在国际上初露端倪的时候，他和钱学森等国内一些优秀的科学家，以敏锐的洞察力，立刻意识到控制理论在工业及国防现代化中的重要作用。在钱学森的极力倡导和推动下，在关肇直全力以赴的努力下，中国第一个从事现代控制理论研究的机构——数学研究所控制理论研究室成立了。关肇直亲自任主任，副主任由宋健担任。从此，他将自己的全部精力投入现代控制理论的研究和中国控制事业的发展中。他为控制理论在中国的启蒙、发展和应用做了大量奠基性和开拓性的工作。今天，许多中国控制界的老一辈专家都忘不了关肇直给过他们的指导和帮助。

1979 年，为适应系统科学与控制理论的发展，他以极大的热情主导了中国科学院系统科学研究所的创建，并担任所长。1981 年他被选为中国科学院数理学部委员（院士）。作为中国数学与系统科学的主要学术带头人之一，他承担了许多组织和管理工作。他担任过中国数学会秘书长、北京数学会理事长、中国自动化学会副理事长、中国系统工程学会理事长、中国科学院成都分院学术顾问、国际自动控制联合会理论委员会委员等职。他同时还担任过《中国科学》《科学通报》《数学学

报》《数学物理学报》《系统科学与数学》等杂志的主编、副主编或编委。

他还主编了一套《现代控制理论丛书》。他对这套丛书倾注了许多心血。这套丛书主要是为从事控制理论研究的科研工作者和工程技术人员写的，它注意理论与实际并重，内容包括线性系统理论、非线性系统理论、极值控制与极大值原理、系统辨识、最优估计与随机控制理论、分布参数控制系统、微分对策等。这部丛书先后出版了近 20 本，为现代控制理论在国内的传播、交流与发展做出了积极贡献。

由于长期超负荷工作，1980 年，他积劳成疾。在病榻上，他仍然坚持工作，为系统科学的未来，为控制理论研究的发展方向思索着、规划着。许多来看望他的同事，都被他的激情所感动，在病榻边和他讨论起工作或学术问题。这种情况最后只好由党委明令禁止。关肇直于 1982 年 11 月 12 日不幸病逝。他为了党的事业，为了自己的理想和追求，真正做到了鞠躬尽瘁，死而后已。

## 二、造诣与奉献

关肇直兴趣广泛、学识渊博，他的秉性和远见卓识以及他对发展祖国科学事业的责任感，使他勇于“开疆拓土，而不安于一城一邑的治理”（吴文俊、许国志语）。因而，他一生的研究工作涉足许多领域。其中，有代表性的是三个跳跃性的领域：数学中的泛函分析、物理学中的中子迁移理论、系统科学中的现代控制理论。

### 1. 对泛函分析的研究和传播

泛函分析，是数学中较年轻的一个分支，在 20 世纪初开始形成，30 年代才正式成为独立学科。它把具体的数学问题抽象到一种更加纯粹的代数、拓扑结构的形式中进行研究，逐步形成了种种综合运用代数、几何、拓扑手段处理分析问题的新方法。

20 世纪 40 年代之前的中国，泛函分析的教学与科研力量较薄弱。50 年代初，数学研究所成立不久，来到数学所的大学毕业生，绝大多数没有学过泛函分析的基础知识。关肇直以一贯的无私和开拓精神，为这些新来的年轻人补习泛函分析，引导他们逐步走上研究轨道。他又在北京大学数学力学系开设了我国第一门泛函分析专门化课程，将当时十分前沿的算子半群理论、非线性泛函、半序空间、正算子谱理论等都作了本质而精炼的介绍，表现出很高的学术水平和很强的前瞻性。1958 年关肇直编著的国内第一部泛函分析教科书——《泛函分析讲义》问世。该书吸取了当时国外几部有名的介绍泛函分析概要书之长处，内容适中，很具特色，便于初学。由于他的努力，为祖国培养了包括张恭庆院士等一批从事泛函分析研究的中坚

力量。

关肇直善于从我国具体情况出发，开拓新的研究领域，发展新的学科。20世纪50年代，国际上刚刚开始将非线性泛函分析用于近似方法的研究工作，他抓住时机，带领青年人开展这一领域的研究并取得了重要成果。1956年他在《数学学报》上发表了论文《解非线性方程的最速下降法》，该文证明了求解希尔伯特空间中非线性方程的最速下降法依这个空间中的范数收敛，并且和线性问题相仿，其收敛速度是依照等比级数的。这种方法可以用来解某些非线性积分方程以及某些非线性微分方程的边值问题。此后无穷维情形最速下降法得到了迅速发展。特别应该指出的是，这篇论文中首次出现了单调算子的思想。论文的主要假设是位算子导数的正定性。关肇直指出“在较弱的条件下证明本文中所提出的方法的收敛性似乎是值得研究的问题”，后来人们通过进一步深入研究发现，这个所谓“较弱的条件”就是目前大家所知道的(强)单调性条件。单调算子概念的正式提出是20世纪60年代初的事情。单调性理论，包括单调算子、增生算子、非线性半群和非线性发展方程等理论，现今已经成为非线性泛函分析中的一个重要分支。关肇直对单调算子理论的成长做了开创性的工作。

## 2. 对 neutron 迁移理论与激光理论的研究

关肇直一贯主张理论要联系实际，强调数学在发展我国经济和国防建设方面的重要意义。20世纪60年代初正当我国独立自主地发展核科学技术之际，他与有关部门联系，主动承担反应堆中有关的数学理论研究课题。这样他与田方增一起又带领年轻人开展了中子迁移理论的研究，填补了国内这一研究领域的空白，并做出了具有国际水平的工作。1964年他完成了论文《关于中子迁移理论中出现的一类本征值问题》，应用希尔伯特空间中线性算子的谱扰动理论和不定度规空间中自伴算子的谱理论，指出了平板几何情形的中子迁移算子的谱的构造，以及本征广义函数组的完整性。在研究过程中，他把问题化成希尔伯特空间中一类特殊的本征值问题。可惜这一重要工作关肇直生前未能发表，直到他去世后，才于1984年发表在《数学物理学报》上。国际上70年代才出现相类似的工作，并且一直被认为是这一时期的中子迁移理论的创新工作。80年代当国外同行得知他在60年代就做出如此出色的工作，都深表赞叹。他在数学所开创的中子迁移方程的研究工作，至今仍由其学生和同事林群院士等继续做下去。

在这一时期，关肇直也十分关注国际上兴起的激光理论中的数学问题。1965年，他在《中国科学》上用法文发表了论文《关于“激光理论”中积分方程非零本征值的存在性》。国外学者用相当复杂的方法、大量的篇幅才证明了这种积分方程

非零本征值的存在性，而关肇直则把问题化成一般形式的具有非对称核的积分算子的本征值问题后，在弱限制性的假设下用十分简捷的方法得到了上述结论的正确性。这一结果得到国内外专家的重视。

### 3. 中国“现代控制理论”的开拓者

1962年中国科学院数学研究所成立了控制理论研究室，关肇直任主任。从此，他就将自己的全部精力投入到现代控制理论的研究、传播中去了。他从零开始，利用其数、理、天文等宽阔的知识面及外语优势，阅读大量文献。然后，亲自主持讨论班，及时报告国外有关现代控制理论的最新成果，尽快使年轻同行走上研究轨道。许多新的研究成果都是在这个讨论班上孕育和发展起来的。弹性振动控制的研究就是一个突出的例子。关肇直和宋健在讨论班上提出了细长飞行器弹性振动的闭环控制模型，开创了分布参数系统控制理论的一类新的研究方向。1974年他和合作者在《中国科学》上发表论文《弹性振动的镇定问题》，以娴熟的泛函分析技巧，把弹性振动闭环控制模型写成抽象空间中的二阶发展方程，然后讨论相关的二次本征值问题。他应用线性算子紧扰动的方法，成功地得到了系统能控性的条件，并给出了系统能镇定的充分条件。在此之前，美国数学家 D. L. Russell 曾用别的方法讨论过与此类似的问题，但他自己认为他所得到的结果并不完全令人满意，增益系数的“增大应能改进系统的稳定性，但这样的整体性结果没有得到”。他甚至认为他所用的方法“带来了增益系数必须很小的缺陷……但很怀疑这里的定理所表达的结果的精确化能用任何别的技巧来得到”。关肇直正是用了算子紧扰动的方法，摆脱了增益系数要很小的限制，得到了更符合工程意义的合理结论，受到国际同行的高度评价。

还应该指出的是，关肇直在 20 世纪 60 年代就提出了结构阻尼振动模型，直到 80 年代国际上才开始重视这类模型的研究。

关肇直不仅身体力行，成为一位站在现代控制理论研究前沿的战斗员，更是一位旗手和指挥员，为中国现代控制理论的发展掌舵导航。在“文化大革命”十年中，研究工作受到很大的干扰和冲击，他领导的研究室仍然坚持开展工作。早在 1969 年，他就以“抓革命，促生产”为契机，提出“每周二、三为数学所业务时间”，使科研工作得到部分恢复。他尽量使控制理论的研究与当时受冲击较小的军工及国防科研相结合，使研究室的工作得以继续和发展。这个时期的研究工作，包括卫星轨道定轨、惯性导航、细长飞行体制导等三项工作获 1978 年全国科学大会奖。这些工作使现代控制理论这一火种躲过了“十年浩劫”，得以在中国的土地上延续。



随着“四人帮”的垮台，科学的春天来临了。作为一个新兴而具有强烈需求的学科，现代控制理论在国内如火如荼地发展起来了。许多高校及科研机构迫切要求开展这方面的研究工作，这使控制理论研究室面临科研和传播、普及的双重任务。这段时期，研究室与许多高校和科研单位建立了合作关系。关肇直亲自带队，到上海、西安、遵义、内江、宜昌、天津、洛阳、沈阳等地的研究机构，了解实际问题，并举办关于现代控制理论的系列讲座。那时条件差，到了外地，他和其他同志住一个房间，为了第二天的报告，他总要在昏暗的灯光下工作到半夜。为了抓紧时间，在火车上、飞机上，甚至在公共汽车上，他都在看资料、想问题。当时资料缺乏，他亲自编写讲义、手刻油印。许多油印讲稿，当时都成了重要的参考文献。他的这些努力和工作带出了一批科研和工程技术骨干，使现代控制理论得到普及，并在许多工程中得到应用。关肇直曾自豪地说：“从二机部到七机部，我们都有合作项目。”1979年，为了适应形势发展的需要，关肇直和吴文俊、许国志等一起，成立了中国科学院系统科学研究所，关肇直担任了第一任所长，直至病逝。从现代控制理论在中国初生、成长，到20世纪80年代初的扬帆起航，关肇直是当之无愧的舵手。他的名字将永远同中国的系统与控制事业融为一体。

### 三、坦荡的襟怀

关肇直关心青年，爱护青年，是青年人的良师益友。在他身边工作过的同志，都深深地被他那种平易近人和诲人不倦的精神所感动。控制室初创时，许多年轻同志对控制理论一无所知。关肇直花大量时间阅读国外文献，将自己消化了的东西一次次在室里报告，组织讨论，并详细解答大家的问题。“文化大革命”刚过，他发现室里一位年轻同志做了一项有意义的工作，为了让文章能用英文发表，他亲自动手，将全文翻译成英文。后来，室里许多人开始能用英文写文章了，但每篇文章从英文到内容他都要帮助修改。虽然许多年轻人的文章里没有他的名字，但都包含着他的心血和默默奉献。厦门大学李文清教授曾提到这样一件往事：“1958年关先生邀请波兰学者奥尔利奇到京讲学，内容是线性泛函分析，用德文讲的，关先生进行口译。为了出版此书，关先生叫我帮他翻译一部分。当此书中译本出版时，关先生没有提他是主译者，只写了我的名字。”关肇直就是这样淡泊名利、提携后学。

关肇直为人正直。“文化大革命”期间他愤怒抨击“四人帮”所推行的那一套反科学的政策，他坚信科学是人类智慧的结晶，应当用于造福人类。当时有人借口反对“知识私有”，反对科学家个人署名的文章发表。对此，他公开表示反对。他说：“如果科学家不把他们的新发现新成果公布出来，而是留在自己抽屉里，或干

脆留在脑子里，最后和他的躯体一起从这个世界消失，那对社会对国家有什么益处呢？科学又怎么发展呢？这才是真正应当反对的知识私有。”公开宣传这些显而易见的道理，在那个疯狂的年代，甚至可能招来杀身之祸。

在关肇直丰富的哲学思想中有一个突出的闪光点，就是他对理论与实践的辩证关系的深刻认识。他强调理论联系实际，并身体力行，将数学和控制理论等科学知识应用于解决国家急需的国民经济及国防工业中的问题。他同时指出，正因为要解决实际问题才更需要加强理论研究。他说过：“没有理论拿什么联系实际？”

1957年夏天以后，当时极“左”压力很大。关肇直顶住压力，到北大讲授泛函分析，给学生鼓了气。由于他的威望，学生敢于去钻研理论。

陈景润完成他关于哥德巴赫猜想“1+2”的证明时，已是“文化大革命”前夕。关肇直顶住当时的极“左”思潮，坚决支持这项工作的发表。他说“这也是一项世界冠军，同乒乓球世界冠军一样重要”。2006年，吴文俊回忆当年的情景时说，有一天，关肇直到他家找他，商议陈景润“1+2”工作的发表问题。他当时正担任《科学记录》的编辑，负责处理数学方面的稿件。关肇直希望把陈景润的成果以简报的形式发表在《科学记录》上，但由于数学研究所内有不同意见，所以来找他商议。他马上赞成了关肇直的意见。很快，简报就发表在1966年5月15日出版的《科学记录》上，赶上了“文化大革命”前的最后一班车。

即使在“左”倾思潮泛滥的“文化大革命”期间，他还坚持说“除国防与经济建设任务外，基础理论研究也要搞”。

有人一讲纯粹数学就把应用数学贬得一钱不值，一强调应用时又什么数学理论都不要了，甚至连建立数学模型都反对。关肇直不同意这种观点，他始终坚持要建模，要在应用数学中使用严格的数学方法。

1978年的全国科学大会标志着科学春天的到来，接着召开科学规划会。当时有些人片面强调理论研究，而把搞应用和“左”联系起来。针对这一情况，关肇直和冯康、程民德等一起提出“理论要抓，应用也要抓”。

关肇直把纯粹数学与应用数学看作一个整体。他形象地解释说，这有如经纬交织，相辅相成，偏废哪一方面都是错误的。是他，把正了理论与应用之舵。

## 四、时势与英雄

关肇直常说，他首先是一个共产党员，然后才是一个科学家。他把自己的一腔热血倾注于祖国的建设事业，梦寐以求的是祖国科学事业的发展。然而，作为一个学者和一个天分极高的数学家，他是带着许多遗憾离开这个世界的。他曾经是



Frechet 最好的学生之一，却放弃博士学位提前回国。后来，他私下曾提到：“也许当时应念完学位再回来。”他首次提出“单调算子”的思想，却没有时间继续深入下去。在病榻上，他说：“如果不是为了其他工作的需要，我会对单调算子做更多的工作。”在《复杂系统的辨识与控制提纲》一文中，他提到了 Prigogine 有关非平衡态热力学的工作以及 Thom 的突变理论，在他看来这是系统科学的主要内容。这与钱学森的观点不谋而合。1982 年，当他病情已相当恶化时，他还表示，要等身体恢复健康后，着重致力于这方面的研究。可惜这项也许会是他一生最重要的工作，刚刚开始，即宣告结束。出师未捷身先死，长使英雄泪满襟。

那是一个动荡和巨变的时代，不平凡的历史总会铸就许多杰出人物，关肇直就是其中的一个——一位带着深深的时代烙印的学者。他既是一位优秀的科学家，又是一位爱国者和一个忠诚的共产主义战士。他的一生是时代的见证。曾经教过他数学的剑桥大学 Ralph Lapwood 教授评价说：“他是一个最聪明的学生”(Guan Zhao-Zhi was the most brilliant of them all)，“他对数学科学与中国科学发展做出了巨大贡献”(He achieved a great contribution to mathematical knowledge and to China's scientific progress)，“他是一个真正的爱国者，用自己的行动表达了他对自己祖国的爱”(He was a true patriot who demonstrated his love of his country by action)。这些评价相当中肯、全面而又有见地，似可作盖棺之论。然而，行笔至此，笔者感触颇多，忍不住狗尾续貂地感叹一句：他天资超群，本来可以也应当为科学做得更多，但他以天下为己任，将更多的才华和精力献给了祖国和自己的信仰。江山万古，留下了他的足迹；曲直荣辱，且留待后人评说。

### 参考文献

- [1] 冯德兴. 关肇直//程民德. 中国现代数学家传记. 南京: 江苏教育出版社, 1994
- [2] 陈翰馥, 秦化淑, 韩京清, 等. 开拓者的足迹. 控制理论与应用, 1999, 16(Suppl.): 2-6
- [3] 《关肇直文集》编辑小组. 关肇直文集. 北京: 科学出版社, 1986
- [4] 陈翰馥, 张恭庆, 秦化淑, 等. 把正理论与应用之舵——记关肇直的创新思想与实践//中国科学院数学与系统科学研究院. 创新案例汇编, 2002
- [5] 陈翰馥, 程代展. 求索在控制理论与应用的创新路上. 控制理论与应用, 2004, 21(6): 852-854