

## 控制科学国内早期传播和 教学的点点滴滴

万百五 西安交通大学 系统工程研究所

重温历史记忆，不忘砥砺前行——格言。



图1 《自动化学科专业发展战略研究报告》

### 前言

自动控制和自动化在18世纪以前是能工巧匠手中的“技艺”。控制科学的发展历史最早可以追溯到19世纪60—70年代英国詹姆斯·麦克斯韦(Maxwell)以及旧俄И·А·维什涅格拉茨基(Вышнеградский)，对在当时被广泛应用的瓦特调速器控制的蒸汽机中出现的稳定现象的研究。到20世纪40年代经典控制理论逐步形成，并出版了一批以伺服机件理论为名的书籍。

这些成就吸引了始终关注国内电机工程发展的、早年在国外国学有成就的、有创见的学者，如萨本栋、张钟俊等的关注。经过他们为首的一代人的努力，开始了控制科学在中国的传播和教学。关于这方面有教育部高等学校自动化专业教学指导委员会编写的《自动化学科专业发展战略研究报告》(2007年高等教育出版社出版，以下简称“研究报告”)<sup>[1]</sup>进行了简单记述(图1)。

本文作者就亲身经历了控制科学在国内的初期传播和教学，在此作些补充、说明和个别的更正。一些经历者、知情人次第作古，弄确实有些历史细节显得格外重要。

### 1) 上世纪40年代萨本栋的《伺服机件》报告

据“研究报告”刊载(第3.2节):“1947年左右,中国电机工程师学会在上海举行年会(或会议)。著名电机工程专家萨本栋(图2)作了伺服机构(Servomechanism)的大会报告”<sup>[1]</sup>。本文试图查实会议的时间、性质、地点以及学术报告的内容。

上文“中国电机工程师学会”是现今的“中国电机工程学会”的原名,成立于1934年,1958年改现名。创立初期著名电机工程专家李熙谋、顾毓琇等曾任会长职务<sup>[2]</sup>。李熙谋(1896—1975)曾获得美国麻省理工学院(MIT)电机工程硕士学位、哈佛大学哲学博士学位。抗战胜利后任上海市教育局副局长,并兼任交通大学教授、教务长,1975年病故台湾。顾毓琇(1902—2002年)曾留学美国麻省理工学院得科学博士学位,曾任清华大学工学院院长、中央大学校长等职务。1946—1947年时任上海市教育局局长兼交通大学教授,是江泽民的老师。1950年去美国任教,改革开放后曾回国讲学。

今互联网查到从1946年《电工》杂志上所载的、在1946年(民国35年)12月在交通大学工程馆12A教室举行过中国电机工程师学会的大会专题讨论会的共5次报道。图3是《电工》杂志上所载的、其中第五次大会专题讨论会的报道<sup>[3]</sup>。

另据当时的交通大学电信研究所研究生陈太一(1921—2004年,后为中国工程院院士)回忆这次中国电机工程师学会的年会(或会议)是在1946年末,并且会议地点在交通大学(上海徐家汇)<sup>[4]</sup>。

20世纪80—90年代,一次我和恩师张钟俊教授谈起这次会议和这个报告,他告诉我会议的时间是1946年。我印象很深的是,他还说萨本栋讲演的题目(伺服机件)是由他建议的。

这几份材料相互佐证。这样,上述中国电机工程师学会年会(或会议)是在1946年12月,在交通大学(今上海交通大学徐



图2 萨本栋(1902—1949),物理学家、电机工程专家



## 65年前中国电机工程师学会的 一次讨论(五)

(转载自1945年《电工》杂志)

---

专题讨论(五)  
中国之铁路电力化及都市电车问题

时间: 三十五年十二月十五日下午三时至四时  
地点: 交通大学工程馆12A教室

章名海报告

中国铁路电力化问题,虽为老题目,然中国仅抚顺煤矿有几十公里,为数甚少,不关重要。今日讨论之对象,为我国有无是项需要及如何推进等问题,本人作英略报告,请诸位指教。

1 国外之情形

(1) 美国——美国有铁路总长40万公里,已经电力化者4500公里,在世界上已占重要地

则蒸汽为32便士,电力为25便士。按Weir报告,如运输密度为600万时,蒸汽比电力要多6便士,但美国50%路线之运输密度超过400万,列车英里占65%,所以很想电力化。估计投资需17100万磅,约合每公里17000美金,每年可省维持费1600万磅,约为投资之9.5%。

(3) 法国——法国主要国有6大铁路,共长42588公里,已经电力化者有2759公里,占6.5%,其电力化之主要理由为利用水力,运输量大,几全部为直流1000—1650伏。

(4) 德国——德国有铁路总长53871公里,已电化者2275公里,占4.2%,分四区域,即南、东、中及柏林。其电气化之理由:

图3 1946年的中国电机工程师学会的专题讨论(五)<sup>[3]</sup>

家汇校区) 举行是确定无疑的了。

会上时任国民政府中央研究院总干事的著名电机工程专家萨本栋作了《伺服机件》的大会学术报告<sup>[4,5]</sup>。

这里, 中央研究院是国民政府的最高科学研究机构, 相当于现今的中国科学院, 而总干事相当于院长。萨本栋1927年自美国麻省伍斯特工学院 (Worcester Polytechnic Institute) 获理学博士学位, 曾创造性地将并矢方法 (dyadic algebra) 和数学中的复矢量 (complex vectors) 应用于解决三相交流电路问题, 得到了当时国际电工界的高度评价, 抗战时期任厦门大学校长。他所编著的中文大学教材《普通物理学》及《交流电机》是上世纪30—40年代大学的重要教科书, 也是本文作者学生时代曾经学习过的。萨本栋于1949年1月在美国加州医院病逝, 是他将“servo-mechanism”译成“伺服机件”, 不是“研究报告”中所称的“伺服机构”。

本文作者1946年12月时还是交通大学电机系二年级学生, 事后在1946或1947年的一个杂志上看到萨本栋这个讲演报告。可能是学会的机关刊物《电工》或科普杂志《电世界》。我查阅了上海图书馆的馆藏目录, 发现没有收藏这两本杂志。因此, 也没找到萨本栋这个讲演。

但是, 一年多后, 即2017年11月, 我向西安交通大学档案馆索要内部刊物《交大电机》<sup>[5]</sup> (图4) 封面及其内容介绍, 以查实钟俊师与研究生魏凌云所发表的论文 (下文介绍) 时, 却意外得到该期刊物的内容“目录”。从中发现了萨本栋的综述报告<sup>[6]</sup>共12页。在作者缮写本文初稿已接近完成时, 突然又意外发现了它, 真令人欣喜若狂。

现在可以肯定: 我当年是从《交大电机》上读到此文, 因为1947年4月庆祝交大建校“50周年”校庆时, 中国电机工程师学会交通大学学生分会对电机系学生人手一册赠送所印的《交大电机》刊物。

因为交通大学电机系在校学生, 都自然成为学生分会的会员。我当时就得到一册, 但因故未保存迄今。

在该综述文<sup>[6]</sup>的首页, 题目“伺服机件 (SERVO-MECHANISM)”的下一行是作者萨本栋的名字。再下一行, 注明“中国电机工程师学会九届年会讲词” (图5)。由

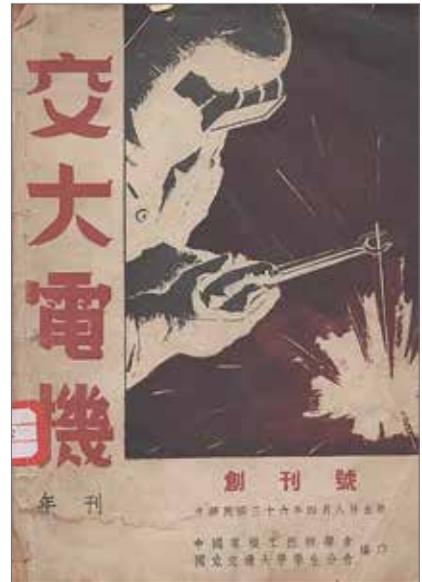


图4 中国电机工程师学会国立交通大学学生分会编印的《交大电机》创刊号

此可以肯定, 这是一次年会。

全文分9部分: 引言、管制方式、伺服机件的数理定义、一个简单的伺服机件、在稳态下伺服机件的基本方程式、稳度、不稳的矫正法、伺服机件的工作状况以及结语 (图5)。其中有些术语和今天采用的略有不同: 如“管制”应是现在惯用的“控制”、“稳度”是“稳定”、“矫正”应是“校正”等。(伺服机件国内现多称为伺服系统或随动系统)。

1947年时我觉得报告内容“莫测高深”, 只记住了伺服机件和它的英文名, 还有几张“怪图”的模样。2年多后 (1950年初) 作为研究生听了钟俊师为交大本本科生和研究生讲授的



图5 1947年4月《交大电机》所载萨本栋“伺服机件”首页之上部



图6 张钟俊（1915~1995）中国控制学科的创始人之一

“伺服机件原理”课，我才领悟到这张图是在开环幅相特性平面上的、利用Nyquist判据判定闭环系统稳定的Nyquist曲线图。

老一辈学者们的汉语水平、翻译水平都是很好的。萨本栋将“servo-mechanism”译成“伺服机件”，不仅意思确切，而且声音也切合。这不禁使我想起术语“robot”，除了中国意译为“机器人”外，世界各国都是音译。而如今闹出一些“欠通”：如“fish robot”被译成“鱼式机器人”。还有“dog robot”被

译为“狗机器人”等。试想如果当初音译为“劳仆”，则鱼劳仆、狗劳仆都还可以接受。

按会章规定，中国电机工程师学会年会每1至2年举行一次。1946年年会12月中旬在交通大学（上海）举行，现有案可据<sup>[6]</sup>，是第九届年会。

综上所述，本节开头所引用的“研究报告”<sup>[1]</sup>一段有关萨本栋作了伺服机件（servo-mechanism）的大会报告的话，建议可以订正为：“1946年12月，中国电机工程师学会在交通大学（上海）工程馆举行第九届年会。著名电机工程专家萨本栋作了伺服机件（servo-mechanism）的大会报告”。或可考虑加上一句：“报告共12页刊登在1947年4月8日出版的交通大学内部刊物《交大电机》创刊号上”。

## 2) 张钟俊早期的伺服机件课程

据官方报告“研究报告”（第3.1节），“1941年张钟俊教授在重庆九龙坡交通大学讲授‘伺服机构原理’课程<sup>①</sup>……；1948年后张钟俊教授又在上海交通大学为大学生和研究生讲授‘伺服机构原理’课程，浙江大学等也在1951年以后开设此类课程”<sup>[1]</sup>。本文就此发些议论。

这里提供了三条有关控制科学教学起步的信息。第1条“1941年张钟俊在重庆九龙坡交通大学讲授‘伺服机构原理’课程”。但据校史：1937年8月上海爆发抗战，交通大学迁入上

① 作者注：应为“伺服机件原理”，下同。

海租界继续办学。1940年11月交通大学在重庆小龙坎成立分校，张钟俊（图6）在分校任教授、电机系主任。1942年10月，交大重庆分校移址九龙坡，升级为国立交通大学总校，设有电机系等5个系及2个专修科并筹建电信研究所。张任电信研究所主任。1944年电信研究所开始招收2年制硕士研究生。

1941年时交通大学分校仍在重庆小龙坎，1942年10月才移址九龙坡成立总校。这条“1941年张钟俊在重庆九龙坡交通大学讲授‘伺服机构原理’课程”的信息时间、地点都存有疑问。1941年仍是分校建立之初，师资非常缺乏。据1940—1944年在分校机械系求学、毕业的何国森（后为上海大学自动化系教授）回忆<sup>[7]</sup>，“……记得当时我们电机及机械专业的各门基础课程，如数学、物理、化学、电工学、力学、英文等，几乎统由张老师及刚从意大利都灵大学回国的曹鹤荪老师分别连续执教，……”。据1943年时任钟俊师助教、后曾任华中工学院（现华中科技大学，下同）自动控制系主任、副校长的陈珽的纪念文章<sup>[8]</sup>回忆，张先生担任电机系三年级的“交流电路”课程，而他是这门课的助教。另外，中国工程院院士许国志对本文作者说起过，他是1943年交大机械系毕业，是张先生的学生。在重庆九龙坡求学时，张先生教授“电机原理课程”。

所以，本文认为1941年在重庆小龙坎分校艰难复校中缺少师资的交通大学分校，还没有高年级的电机系学生，就为电机系本科生开设“伺服机件”课程，殊少可能。

如果1941、1942年殊少可能钟俊师讲授“伺服机件课程”，则1943年时任钟俊师助教、1944—1946在钟俊师指导下攻读研究生的陈珽，对1943年随后钟俊师开设的无论伺服机件课程也好、讲座也好、报告也好应该都是知情的。但他的纪念文章<sup>[8]</sup>就没有提起。

在钟俊师的小传<sup>[9,10]</sup>及[11]以及其他纪念文章中，没有提到这次1941年或稍后在重庆的“伺服机构原理”授课。上文提到过的、1944—1946年在交通大学（重庆）电信研究所攻读硕士首届的研究生陈太一回忆文章<sup>[2]</sup>也没有谈起这件事。只谈起“1946年年底，中国电机工程师学会在交通大学举行会议，萨本栋教授在会上做了伺服机件的学术报告，从此钟俊老师就开始在自动化方面开辟领域，使他成为我国自动化科学技术方面的奠基人，……”。显然，陈认为钟俊老师开辟伺服机件的研究领域是在1946年底之后，并在上海。

本文作者是钟俊老师1949年后最亲近的研究生之一，并终生向他请教、学习。我没有听他本人在世时或在重庆求学过的、我的研究生师兄们讲起这件“1941年张在重庆九龙坡交通大学讲授‘伺服机件原理’课程”的事。特别是《中国大百科全书：“自动控制与系统工程”卷》所载由张钟俊的中年同事施颂椒所执笔、估计经张本人过目的钟俊老师的“小传”<sup>[9]</sup>中，就没有提到这次1941年‘伺服机构原理’授课。文[12]专门研究交通大学电信研究所的历史、办学及贡献，在介绍早期研究生的培养方案和课程中也没有提起设置过“伺服机件”课程。

另一方面，1945年8月二次大战结束后，一些与武器有关的新发明，如雷达、原子弹和与伺服机件有关的飞机自动驾驶仪等，才开始逐步透露出来。而1945年才在美国出版第一本以伺服机件命名的书籍。当然，黑曾（H. L. Hazen）关于伺服机件的论文<sup>[14]</sup>1934年就发表了。

所以本文认为，或者钟俊师当时在校作过一次有关学术演讲，正式作为列入培养方案的本科课程开设还缺乏有力佐证。由于“在研究报告”出版前钟俊师已经故世，未能亲自核实。这留待学者们今后进一步求证。

1944年张钟俊任所长的交通大学（在重庆）电信研究所第一届研究生有魏凌云（1944年入学，1946年硕士毕业即奉派赴美，后在美国一大学执教，上世纪90年代受邀访问西安交通大学，本文作者曾参与接待过。他在钟俊师指导下的硕士论文题目是“无线电控制飞机之研究”<sup>[12]</sup>，他和张有关论文载于《交大电机》创刊号上，就是本文作者原想查实的内容（见本文第1节）。这表明，他硕士论文研究的是飞机的无线电导航和自动驾驶仪之类问题<sup>[13]</sup>，它本身包含一个伺服机件。所以，有可能钟俊师为研究生、或为全校作了学术演讲，介绍了伺服机件原理。

而2015年在张钟俊诞辰100周年纪念活动上没有人，包括陈珽（1919—2011）的纪念文章提及1941年他在重庆交通大学、在萨本栋之前讲授“伺服机件原理”课这件重要的事件<sup>[4,7,8,10,11]</sup>。当然，1941年陈太一、陈珽都还未在重庆交通大学分校。但张的挚友、著名学者、参与九龙坡分校建设的季文美（交大航空系教授、后曾任西北工业大学校长）、曹鹤荪（曾任交大航空系主任、国防科技大学副校长，国际宇航科学院院士）以及1940—1944年在分校机械系毕业的自动化系教授何国森校友等都未在纪念文章中提起这件事<sup>[7,10]</sup>。

“研究报告”中提到的第2条信息：“1948年后张钟俊教授在上海交通大学为大学生和研究生讲授‘伺服机构原理’课程，……”，指的就是我参与学习、听讲的课。

我是1949年秋季进入电信研究所攻读研究生。我们一届3名研究生都参与了这次听课学习。但时间有些出入，那是1949—1950学年的第2学期（时间上是1950年的上半年（春季））。这事我已经与其他当时听过此课的同学核实过。据《中国大百科全书：“自动控制与系统工程”卷》所记载由张钟俊的同事施颂椒所执笔、估计经张本人过目的钟俊师的“小传”<sup>[9]</sup>中记载，讲课发生在1949年，这与我和其他听过该课的学生的记忆基本一致。

这是国内自动控制学科历史上继萨本栋讲演后又一个极重要的事件，时间上推迟半年一年丝毫不影响这事件的重要性，也不影响钟俊师为我国自动控制学科的传播所做出的开创性的光辉贡献。



图7 Gordon S. Brown（1907—1996）  
MIT教授、工学院院长

当时他用英语授课，这是老交大的传统。我记得当时授课主要根据H. Lauer的《Servomechanism Fundamentals》，并参考Brown（图7）and Campbell的《Principles of Servomechanism》。这两本书当时都已由上海龙门书局影印出版。我都购买了。

所以，该课程前面部分主要内容是时域研究法，要解微分方程。后面讲授些频域研究法和Nyquist判据。张钟俊教授还补充讲授了为解微分方程特征方程的林士谔的求根逐步逼近法。

关于“研究报告”上文提到的最后一条有关控制教学起步的信息“……，浙江大学等也在1951年以后开设此类课程”一事，本文作者可

以补充的是：我曾听已故院士、好朋友冯承伯教授（1928—2007）亲口对我说过这事，并且说讲授此课的是王懋鏊教授。冯纯伯是1950年从浙大电机系毕业的，是王的学生。

1954年初在高等教育部于交通大学（上海）召开的“工业企业电气化专业（以下简称“工企”专业）教学计划制订会”上我见过王懋鏊。当时他是浙江大学出席会议的代表，该校工企新专业的筹建人，并且在会议开始自我介绍时说他在研究继电-接触器综合的理论。当时我则是交大该新专业的一名青年教师，奉命担任会议记录，并由此记得他的名字。对继电-接触器综合的高深理论的敬畏心态，使我记着这位教授。

此外，“研究报告”还提到（第3.1节）：“1948年，清华大学钟士模教授在清华大学讲授了‘瞬变分析’”课程。在交通大学我求学时（20世纪40年代中期）

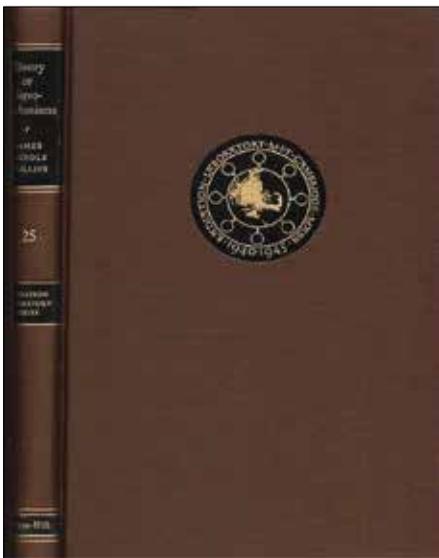


图8 著名的MIT 辐射实验室丛书

记得电机系电力组有一门“运算微积（Operational Calculus）”的选课，讲授海维赛德（Heaviside）的“运算微积”法<sup>②</sup>。我印象中记得好像是由任“上海市教育局局长”的顾毓琇兼职教授讲授。我这一印象已经由西安交通大学教授蒋大宗（1922—2014）的口述历史回忆录<sup>[15]</sup>（第100页）所证实。江泽民当年在交大学习时曾选修运算微积课程。其内容也是暂态分析的简捷数学方法。但直到拉普拉斯变换理论的研究进展，才赋予运算微积一个坚实的理论基础。

而当我1949年考入交通大学电信研究所作研究生时，一年级研究生的一门主课“高等电工数学”（2学期课程），由钟俊师讲授，第一部分内容就是拉普拉斯变换。采用的是M. Gardner 和 J. Barnes名著Transient in Linear Systems, Vol.1. Lumped constant systems, 1942年出版，1949年时早有影印本了。课程内容是拉普拉斯变换的理论和各个定理的推演和证明，以及在求解各类系统的暂态分析中的应用。估计钟俊师在前几年已对研究生讲授这个内容了。至于在交大电信研究所最早何时开始采用该书讲授该内容，则我就不掌握了。

本文作者认为，上述这类课程与电机系内多个课程的暂态分析有关，如电机、电器、通信（滤波器）、电力网络、电信网络、伺服机件等，是一门数学分析的工具，与控制科学无直接关系。在研讨自动化历史时，发现设置这类课程的学校除清华大学外尚有别的学校，我认为，这类“瞬变分析”课程设置在中国自动化学科专业的发展历史上可以不必提起了。这丝毫也不影响清华大学和钟士模教授在建立自动化新专业、与中科院合办全国自动化学习班、建立中国自动化学会，以及自动化学科专业在我国创立、改革、转型等事业上的“带头兵”和样板的贡献。而本文作者在1956—1958年清华大学初创“自动学与远动学专业”时，曾在清华大学“自动学与远动学”教研组进修2年，不仅听前苏联专家课，还学习如何创设新专业，得到了清华大学电机系副系主任兼该教研室主任

② 本文作者注：Oliver Heaviside, 1850—1925, 英国物理学家，对早期的运算微积法作出全面的改进。

钟先生的很多指导和帮助，一直心怀感激。

### 3) 一批早期欧美控制书籍的影印出版

解放前全国无论国立或私立大学的理工科都采用国外大学的英语教材。交大更是如此。记得当时我们电机系所用教材大多是紧跟美国MIT的教材。问题是原版的教材学生买不起。好在旧政府并没有参加“世界版权公约”，所以都由各学科的教授们向上海龙门等书店（旧上海又称书局）推荐各学科的好教材、名教材进行影印，并在全国销售。1949年前后影印了第一批自动控制方面的书籍，对推动国内控制学科知识的传播起了非常积极的作用，下面列出其中部分书目。

Ed S. Smith, Automatic Control Engineering, New York: McGraw-Hill, (1942), 1944.

L. A. MacColl, Fundamental Theory of Servomechanisms. D. V. Nostrand Company, New York, 1945.

H. Lauer, R. Lesnick, and L. E. Matson, Servomechanism Fundamentals, New York: McGraw-Hill Book Co., Inc., 1947.

H. M. James, N. B. Nichols and R. S. Phillips, Theory of Servomechanisms, Volume 25 of MIT Radiation Laboratory Series. McGraw-Hill, New York, 1947. (图8)

G. S. Brown and D. P. Campbell, Principles of Servomechanism, Wiley, 1948.

其中三人编写的MIT 辐射实验室丛书第25册《伺服机件理论》，以火控雷达为对象，讲述如何在随机信号作用下进行伺服系统的分析和综合，是开创性的世界名著，有俄文译本。

而Brown教授（图7）是上世纪40年代MIT的工学院院长，上述最后一本书是和

他的前学生 Campbell合写的一本教材。它被公认为是当时最好的一本伺服机件教科书。Brown教授是黑曾教授指导的博士生，黑曾是1934年著名论文著名论文“Theory of Servomechanisms”<sup>[14]</sup>的作者，该文的贡献在于对伺服机件的运作进行了确切的描述，并提出设计方法。

直到H. Chestnut和R.W. Mayer 1951年的Servomechanisms and Regulating System Design: vol.1, 1951; vol. 2, 1955, Wiley以及J. G. Truxall1955年的《Automatic Feedback Control System Synthesis, New York: McGraw-Hill才开始出现以“调整系统或反馈控制系统”命名的书籍。这表示控制科学的科研和教学热点在延伸。

以后陆续影印的自动控制书籍不少，上述例举是我所记得最早的一批、而且我也全购买了。这些书籍对控制学科在全国传播起了重要的推动作用。由此，引发一些大学电机系教授在自己大学里开设《伺服机件》课程。但在1952年这个课程就不再讲授了，原因是国内高等院校开展了由政府主导的“学习苏联”的高等教育改革。

### 4) 张钟俊指导下我有关自动控制的研究生论文

钟俊师为我的研究生毕业论文提了课题“市电稳压器设计和研制”。现在我回忆起来解放初（1950年）我们这一届研究生毕业论文选题时，交通大学电机系内有一股风：“解放了，学术研究的论文一定要搞实际项目，不能再‘学院派’”。现在看来，这是对党的科技政策片面的理解。

前面说过，钟俊师早在1944年为第一届电信研究所研究生魏凌云选了《无线电控制飞机之研究》的硕士论文题目<sup>[12]</sup>，后来魏还和钟俊师发表了“飞机自动驾驶仪原理之猜度”的论文<sup>[13]</sup>。可见在当时二战刚结束钟俊师就关注军用新伺服系统的研发。上一届2位研究生师兄，一位陈敬熊（后为中科院院士）研究天线理论、一位研究四端网络综合作为研究生毕业论文题目。这些研究可能被认为充彻“学院派”气息。



图9 电机工程专家蔡金涛院士

经过一年的努力，最后在他和副导师蒋大宗（当时是讲师）指导下我完成了题为“伺服控制反再生电机械减生稳压器设计（Servo-operated electromechanical degenerative voltage stabilizer design）”的研究生毕业论文<sup>[6]</sup>。用现在的控制术语，是设计并研制一个伺服控制的、负反馈的、市电电压的大型机电自动调整器。实际上它是伺服机件控制的交流稳压电源。最后做到市电电压调节范围是 $110 \pm 2\%$ 。

我采用非线性交流电桥测量50周市电的电压幅值，非线性元件是6.3伏的小电珠，以替代国外用的热敏电阻。电桥的相敏误差信号输出放大后控制一对闸流管，再动作相应的直流继电器，然后再带动分磁场微型直流串激电动机作为伺服电动机。这称为闸流管-电动机（thyatron-motor）的功率放大，直流伺服电动机通过伞齿轮转动一大功率的自耦变压器，后者的输出通过辅助变压器降压与市电电压相串接以修正市电电

压。最后市电电压可以做到 $110 \pm 2$ 伏。主要参考书是已经影印的 Ivan A. Greenwood, Jr. J. Vance Holdam, Jr., Duncan MacRae, Jr.合著的Electronic Instruments, MIT Radiation Lab Series. Vol. 21, McGraw-Hill, New York, 1948。该书对稳压电源从自动控制角度的分析和对一些伺服系统实验方法的介绍为我的研究工作提供了很大帮助。

由于一方面论文工作含有许多实际事务，如去旧货市场淘旧货、实验室中寻找旧伺服电机，寻觅、购买新试制成的硒整流电源、设法请人加工蜗轮蜗杆齿轮、安装转动部分的限位开关，加工电子放大部分的底板及其电源的研制等事务，以及实际动手加工制作，花费了大部分时间。

另一方面这是一个多重非线性继电器型伺服系统，自耦变压器的电刷滑动造成的干摩擦很大，这又是一个非线性环节。另外，我以在实验室找到的、不知哪里拆下来的旧“分磁场串激微型直流电动机”作为系统的伺服电动机。它还带有帮助制动的、一个具有较强力弹簧的摩擦制动盘。这又是一个非线性环节。当时非线性自动控制系统的理论研究在英美还刚刚兴起，这不同于前苏联，极少见之于英美文献或书籍。我当时也只学了一点线性控制系统的理论，对继电器非线性系统加有另两个严重非线性环节的非线性现象，没能用相平面法或描述函数法从理论上定量地进行稳定性、极限环、颤动等分析。但对非线性电桥为何相敏以及为何非线性电桥输出偶次相敏谐波等进行了理论分析。这个电桥可近似认为是一个线性环节。对引入局部反馈和尽力增大放大倍数以改善系统动、稳态品质等方面都进行了实验研究。

这是国内第一个以自动控制为题的研究生论文。我们这一届3个研究生当时做的都是很实际的课题，这与当时学校电机系内有些教授刮出来的一股“非议‘学院派’”研究生论文的风气有关。如我同届的师兄郑守淇的研究生论文课题是“研制载波电话终端机”，另一师兄的课题是有关“一日本旧雷达的修复和调试”。

论文的答辩于1951年7月在学校内举行，由上海电工研究所研究室主任、著名电工专家蔡金涛（图9）

(1908—1996, 曾获哈佛大学电信工程硕士学位, 后为中国科学院院士, 中国导弹与航天技术的主要开拓者之一) 主持, 他见我面的第一句话是: “我说哪里来了一个‘万百五’, 原来是张先生的研究生”。我知道, 他这话表示, 他已经知晓或者审阅了月前我投稿《电信建设》杂志的一篇综述文章“反再生稳压器分析”。这是我研究生论文工作的“副产品”——有关电压自动调整器的综述。本文在第9节“控制术语的统一”中再介绍这篇综述。

蔡金涛等评审专家却不管什么“‘学院派’非议”, 结果我们三人研究生毕业论文的评分都不高, 我得了75分, 三人中算是高的。确实, 我们根据实验室现有器材条件进行研制, 缺乏理论分析, 创新有限, 水平不高。

### 5) 大批前苏联重要控制著作的涌入

上世纪50年代初期前苏联书籍以非常低廉的价格出口我国。这对中国学者、学生了解、学习前苏联先进的科学技术起了巨大的作用。其中早期自动控制方面的书籍有:

В. В. Солодовников, Введение В Статистическую Динамику Систем Автоматического Управления (弗·弗·索洛多夫尼柯夫著, 《自动控制系统统计动力学引论》), 1952. Государственное Издательство Техничко-Теоретической Литературы, (国立技术-理论文献出版社, Машгиз, 简称: 机械制造出版社)。

Блох З. Ш. Динамика Линейных Систем Автоматического Регулирования Машин, (查·煦·勃洛赫著, 《机器线性自动调整系统动力学》), 1952. Издательство: Государственное Издательство Техничко-Теоретической Литературы (1952, 国立技术-理论文献出版社)。

М. А. Айзерман, Теория Автоматического Регулирования Двигателей, Уравнения Движения и Устойчивость. (姆·阿·艾捷尔曼著, 发动机自动调整理论, 运动方程和稳定性) Издательство: Гостех издат, 1952 (国立技术出版社)。

М. В. Мееров, Основы Автоматического Регулирования Электрических Машин. Государственное Энергетическое



图10 前苏联弗·弗·索洛多夫尼柯夫:《自动调整原理·理论》。1054页



图11 弗·弗·索洛多夫尼柯夫(1910—1991), 前苏联及俄罗斯控制科学家、教授、俄罗斯科学院院士

Издательство. 1952. (姆·弗·麦耶罗夫著,《电机的自动调整原理》,国立动力技术出版社,1952)。后由王众托译,1954年燃料工业出版社出版。

В. В. Солодовников(ред). Основы Автоматического Регулирования • Теория. Издательств Машгиз. 1954 (图10)。(弗·弗·索洛多夫尼柯夫(图11)(主编):自动调整原理•理论. Машгиз出版社,1954。全书1100多页的篇幅,是世界名著,有英译本。中译本《自动调整原理,第一、二、三分册》由王众托译,北京:水利电力出版社,1957~1959,曾被定为自动控制专业自动调节理论(后改称为自动控制原理)课程的参考书。

А. А. Воронов. Элементы Теории Автоматического Регулирования. (издание второе, переработанно и дополненное) Военное Издательство Министерства Обороны Союза ССР, Москва, 1954. (阿·阿·伏龙诺夫著(图12),《自动调整理论基础》<sup>[17]</sup>。(第2版,补充和重写本)前苏联莫斯科国防部军事出版社,莫斯科,1954)(由徐俊荣、万百五、郑守淇、王众托译,北京:水利电力出版社,1957)(图13)。

上述这些书籍也是前苏联控制科学学术界有关领域著名的专著。如勃洛赫和艾捷尔曼的上述著作(《机器线性自动调整系统动力学》和《发动机自动调整理论,运动方程和稳定性》)分别是机器(如水轮机)和发动机(内燃机)自动控制领域的权威著作。而以研究频率法闻名的索洛多夫尼柯夫的名著更是前苏联汇集国内控制科学领域的顶尖学者、院士合作分别写成反映上世纪50年代初期前苏联自动控制理论理论研究成果水平的名著。

而伏龙诺夫所编的《自动调整理论基础》原书,无论在前苏联还是中译本在中国都是经典的、流传很广和评价很高的教科书。后被中国高等教育部定为“工业企业电气化”及后来的“自动学与远动学(后改称自动控制)”等专业的教科书或教学参考书。

## 6) 统一的《自动调整理论》课大纲、教材及授课

高等教育部(作者注,建国初中央政府设立高等教



图12 阿·阿·伏龙诺夫,(1910-1992)。俄罗斯科学院院士



图13 前苏联阿·阿·伏龙诺夫.《自动调整理论基础》(中译本)

育部和教育部两个部)为了在全国铺开设置适用性强的“工业企业电气化专业”，决定选择交通大学为重点，先行一步，并且为交大请了前苏联专家阿·伊·舒金(А. И. Шукин)。在他1954年初到校前，我和师兄徐俊荣(1982年任上海交通大学生物医学仪器及工程教研室主任)受命准备为本科生讲授此课程，但从高教部1953年提供的前苏联的工企专业的教学计划上，只知道此课程名叫“Теория Автоматического Регулирования и Регуляторы (自动调整理论与调整器)”，其他如课程教学大纲、教材等信息、资料什么都没有。

舒金专家带来了前苏联一大学5年制的该课程大纲和教科书即上述伏龙诺夫的书(1950年，第1版)。从这时候开始，我们两人的备课才走入正道。一面消化该书，一面翻译和编写一部分作为我们授课的教材(讲义)。

当时感到困惑的另一个问题是前苏联大纲中的“调整器”指什么内容，有什么参考书或教材？舒金指出调整器就是书中的实例，如直流发电机电压的炭堆调节器、发动机的带恒行器伺服机的液压调节器，以及水轮机的液压式转速自动调整系统的液压调节器等。所以后来我们觉得在课程名字里就没有必要强调“调整器”而删掉了。这一点1954年初高等教育部在交通大学召开的“工业企业电气化专业教学计划制订会”得到会议的同意。该课程就是现在的《自动控制原理》课程，不过当时对工企专业只讲授线性部分。

一年后，1955年初，高等教育部在哈尔滨工业大学召开了工业企业电气化专业教学大纲审订会。对交通大学为会议准备的课程教育大纲、各次下厂实习的大纲都进行了审订。本文作者是交大与会代表团成员之一，是“自动调整理论”课程大纲的起草者。实际上我就是按苏联专家带来的前苏联五年制“工企”专业的该课教学大纲进行适当压缩而草拟成的。

1955年春季徐俊荣师兄和我分别为交通大学电机电器专业和工业企业电气化专业讲授该课，准备了讲义；并由我师兄郑守淇准备了几个实验，其中有利用美国旧电机放大

器(amplidyne)组成的带测速电机反馈的直流电动机调速系统，由实验室仓库发现的旧自整角机组成的直流随动系统；有徐俊荣制作的6阶运算放大器为主体的模拟计算机，用来模拟闭环控制系统，并利用音频发生器和示波器测量四端网络(模拟控制系统的元件)的频率特性等等。所以虽然是一个新课，但各环节都齐全。这是教育改革后国内首次按部定大纲、教材讲授工业企业电气化专业本科的“自动调整理论”课。

后来本文作者还按高教部要求为工企专业该课草拟了“教学法指导书”(包括实验指导书)。经我教研室和学校讨论、审查通过后，经高教部批准作为其他院、校新办工企专业开设该课的教学上的参考样板资料。

当时工业企业电气化新专业的教学计划、教学大纲确定后，全国在筹建或已招生的工企专业中的各院校对大纲规定的中文教材需求非常迫切。徐俊荣和我又赶紧按照舒金专家回国度假后55年初带来的新版伏龙诺夫著作(第2版，1954年)修改补充我们原来的译文，又请王众托、郑守淇帮忙分别译了“头”——原书第2版长长的绪论和“尾”——原书第2版的新附录，后者包含随动系统对数频率特性综合法和非线性调节系统的谐波平衡法等。最终该教材在1957年由水利电力出版社出版<sup>[17]</sup>，60年代由中国工业出版社等重印，一直沿用了20年。

该译本正式出版时，我正在清华大学电机系自动学与运动学教研组进修



图14 何文蛟,《自动调整原理》, 1959年版

(见第2节)。我将译书一册送给钟士模教授。他后来在1957年9月与杨嘉墀一起代表中国参加了在法国巴黎进行的国际自动控制联合会(IFAC)成立大会和第一届全体大会。回国后在清华园内遇到我时对我介绍会议的情况, 并说:

“在会上见到了前苏联代表伏龙诺夫, 他还蛮年轻的。……我把他的教科书在中国已翻译出版的事告诉了他。建议你(指本文作者)寄一本给他……”。

我从钟那里拿到伏龙诺夫的地址(前苏联列宁格勒多科性工业学院Ленинградский Политехнический Институт), 寄了一本译著给他。他收到后回了感谢信。20世纪60年代后我才知道, 他专门找了在他学校留学的中国交通大学的研究生, 了解我们这几个译者的情况, 特别是我这个赠书人。这是其中一位我校交通大学派出的研究生, 获得副博士学位后1963年回到母校西安交通大学(学校已从上海迁往西安)后

告诉我的。他就是后来的西安交通大学电机系教授、1985—1996年任校党委书记的潘季。

### 7) 国内自编的自动调整理论课程教材

我所授自动调整理论课的这一首届交通大学工企专业本科班级于1956年毕业, 这届毕业生中有成绩优异的蒋新松(1931—1997, 后任沈阳工业自动化研究所所长、中国工程院院士)。

实际上, 国内东北工学院(现东北大学)在1955年就有工企专业的4年制本科毕业生。早于(高等教育)部里选点的先行单位交通大学的工企专业一年。它的“自动调节理论”课, 由1947年中央大学电机系毕业的教师谢绪恺主讲。

据该班毕业生陈敏逊(现任上海交通大学教授)回忆, 谢绪恺在他们班是第一次讲授该课程, 无印就的讲义, 采用写黑板记笔记的方法授课。谢绪恺是东北工学院开设此课的第一人。

此外, 华中工学院为工企专业1957年毕业的第一届本科生开设“自动调整理论”课, 由教师何文蛟讲授。何文蛟(1917~2004)1942年西南联合大学电机系毕业。当时部定教科书尚未出版, 何文蛟采取自编讲义。1959年以授课讲义

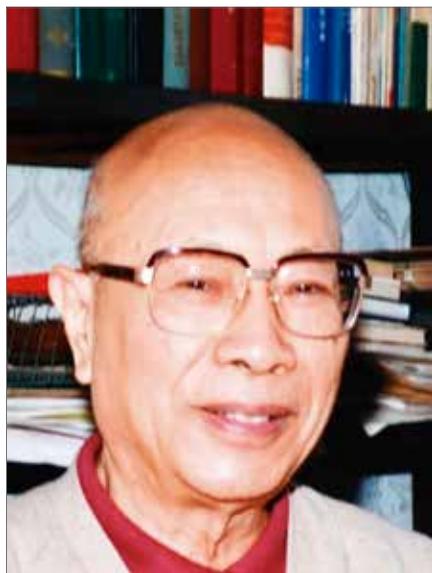


图15 刘豹(1923—2013)首创天津大学“自动化仪表”专业

为基础，由上海科学出版社出版了何文蛟编的《自动调整原理》教材<sup>[18]</sup>。这是国内第一本自编《自动调整原理》中文教材（图14）。何文蛟和谢绪恺当时在没有教材的情况下上讲堂讲授“自动调整理论”新课，是一件困难的创新工作。

王众托（中国工程院院士）1951年毕业于清华大学电机工程系，同年8月进入大连工学院（现大连理工大学）电机系，1954年开始筹建工业企业电气化专业，并为了学习和准备教材从事翻译前苏联自动调整书籍。1954年他翻译的（前苏联）姆·弗·麦耶罗夫所著《电机自动调整原理》问世。这本书出版很早，对当时为国内自动调整理论备课、授课的教师们很有帮助。他后来翻译了索洛多夫尼柯夫主编的《自动调整原理》巨著，又译了Я·З·崔普金（Цыпкин）的《脉冲调整系统理论》等专著，为前苏联自动调整理论在中国的传播作出了重大贡献。

在这以前，天津大学刘豹（图15）根据当年在美国所学的知识、自己在科研和教学中的实践，以及自动控制的新发展，编著了《自动控制原理》一书，1954年由中国科学图书仪器公司出版。这是国内公开出版的第一部关于自动控制理论的编著书籍<sup>[19]</sup>（图16）。

哈尔滨工业大学是最早学习前苏联教育经验的学校，50年代初期就有前苏联专家来校授课并培养工企专业研究生、本科生。“自动调整理论”课由前苏联专家涂比青（А. И. Тупицын）讲授。1955年就有按照苏联5年制（另学习俄语一年，共6年）毕业的本科生。

2006年国际自动控制联合会（IFAC）庆祝成立50周年。其中一个活动就是出版了一本由美国 George Mason 大学教授、国际自动控制联合会（IFAC）出版委员会的主席亚诺仕·格特勒（Janos Gertler）主编的介绍世界最早的控制教科书（含译本）的专著：Historic Control Textbooks（历史上的控制教科书）（图17）<sup>[20]</sup>。图中右下角为徐俊荣、万百五等翻译的伏龙诺夫的著作。

经中国自动化学会推荐我国被IFAC选中的教科书有4种：除徐俊荣、万百五等所译的伏龙诺夫的《自动调整理论基础》、王众托译的、索洛多夫尼柯夫主编的《自动调整原

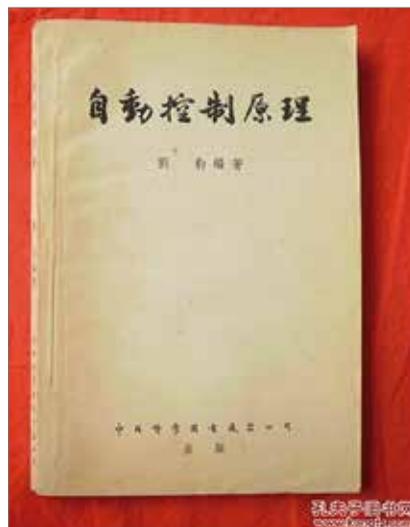


图16 刘豹编著：自动控制原理



图17 Historic Control Textbooks (2006)

理·理论》外，还有刘豹编著的《自动调节理论基础》（上海科学技术出版社，1963年）<sup>[21]</sup>（图18）以及我所在西安交通大学“自动学与远动学”教研室的青年同事、和我并肩奋斗在交大建立新专业的陈辉堂所编的《随动系统》（高等教育出版社，1961年，图19）<sup>[22]</sup>。这4本被选中的早期教科书在“研究报告”<sup>[1]</sup>中也都提到了。

### 8) 控制科学科学研究在高等学校的起步

在1952年开始，经过4年的教育改革、学习前苏联，先行一步的高等工科院校经过执行学来的各个新教学环节：开出新课程、推行课程设计、各次生产实习以及毕业设计等，将自订新教学计划执行了一遍。除了需要进一步提高这些环节外，开展科学研究以提高教学质量和学术水平在1956年初就提到日程上来了。

上文第2节提到在1954年初交通大学（上海）由高等教育部指定召开的“工业企业电气化专业教学计划制订会”上，浙江大学代表王懋鏊教授在会议开始的自我介绍时说道：“现正在研究继电-接触器系统的综合理论”。作为会场记录的新专业的年轻教师，我也知道《继电-接触器线路理论》是前苏联加夫李罗夫的名著（М. А. Гавлиров: Теория релейно-контактных схем. АН СССР, 1950, 苏联科学院出版社），觉得它很高深。因此对王教授印象深刻。

因为当时工业企业中生产机械由电动机拖动，它的启动、停车、制动、反转等的控制，称为电力拖动自动控制，都是依靠继电-接触器系统来完成的。而继电-接触器作为不连续的元件，其线路的分析及综合理论是一门数学颇高深的学问。果然，后来王懋鏊在1956年发表了继电接触电路的一个等效关系的证明的论文<sup>[23]</sup>。

而东北工学院谢绪恺在1957年第一届全国力学学术会议宣读《研究线性系统稳定性的新方法》，并获学术会议大奖<sup>[24]</sup>。他的成果被编入《一般力学》大学教材，被命名为“谢绪恺判据”。之所以在力学会议上宣读，是因为当年控制科学还没有自己的学会，也没有专属自己的学术会议。

王众托在1956年大连理工大学学报上发表科研成果：《按虚频特性近似寻求过渡历程曲线的简化方法》一文<sup>[25]</sup>。

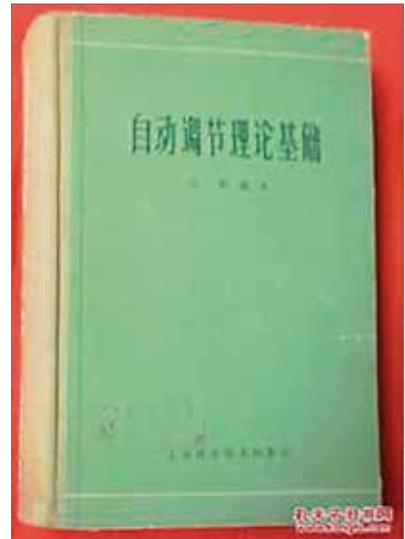


图18 刘豹，《自动调节理论基础》，1963



图19 陈辉堂编《随动系统》，1961

在上世纪50年代研究和设计自动控制系统，如大型生产机械的自动调速的电力传动系统，最后都要计算并画出自动调速系统电动机速度的过渡过程曲线，以校验系统的动态指标如超调量、过渡过程时间等是否满足要求。但实际闭环系统都是由5~8阶以上的微分方程加以描述的。描绘其解就要求解系统的高阶微分方程。时域法研究就绕不过特征方程式求根的难题。

上世纪40—50年代自动调整系统研究及设计的频域法兴起，控制教材都偏向频域法研究：利用必需的判稳定性的开环频率特性 $W(j\omega)$ 平面上的开环系统的Nyquist特性，在一套特制的列线图的帮助下逐点求出闭环系统的实频率特性 $P(\omega)$ 或虚频率特性 $Q(\omega)$ 。再按照系统过渡过程 $x(t)$ 和频域特性的关系式，将 $P(\omega)$ （或 $Q(\omega)$ ，下同）一般以7~10段以上直线逼近。这样， $P(\omega)$ 就分解成为7~10个以上梯形的总和。系统的过渡过程就成为相应的7~10个以上过渡过程的总和。然而，用这个方法相当繁复：每个梯形需查 $h$ -函数表（索洛多夫尼柯夫和Матвеев等人专门编制出版的 $h$ -函数表，仅函数表就成书一册）在毫米方格纸上逐点画出其相应的子过渡过程，然后将7~10个以上子过渡过程在方格纸上取其代数和，画出系统的过渡过程。这个求解过程非常繁琐、费事、费时，令研究、设计人员头痛。

1957年本文作者发表了一种大大简化的梯形法以获取系统的过渡过程。就是对原来的过渡过程 $x(t)$ 与实频特性 $P(\omega)$ 的关系式采用分部积分法，使得所得的新关系式大大简化了过渡过程的绘制<sup>[26]</sup>。按照新的求过渡过程公式，仅须将每个梯形在同一时间点的坐标从简化后的 $h$ -函数表读出函数值，再采用加法器，甚至算盘加、减取代数和即可得到过渡过程的一点。所需的 $h$ -函数表篇幅也大大缩小。也不需要再在毫米方格纸上求取多个子过渡过程曲线的代数和。据作者所知，天津、天水电气传动设计研究所技术人员曾采用这个改进方法，认为较原梯形方法“省事多了”。

1958年本文作者采用结构图变换和等效结构图方法，将随动系统对数频率特性综合法推广，解决了从扰动综合

线性自动调节系统（恒值自动调节系统）等类的多类综合问题<sup>[27]</sup>，被刘豹在其《自动调节理论基础》<sup>[21]</sup>书中引用和进一步推广，称为“万百五方法”。

这些都是工科院校新专业教师在酝酿展开科学研究时，备课和钻研前苏联教材时，对经典控制理论的一些思考、试图改进的习作，是开展科研的前奏或起步。本文作者所记得的都是与作者有过交往的新专业教师的创作。至于黄琳院士，1964年就解决了现代控制理论中的一些基本问题，如给出单输入系统极点配置定理，并且给出了二次型最优控制的存在性、唯一性与线性控制律。后来又给出了输出反馈实现二次型最优控制的充要条件，并指出在一般情况下该问题无解等高级的科研成就等。就是在这个1964年，本文作者和学生一起，正进行着“教育革命”和“九评”学习的政治运动，既不知情，更不敢涉猎现代控制理论。

我在1955年初在哈尔滨工业大学举行的、由高教部领导的全国工企专业课程教学大纲审订会议时，会见交通大学1951年毕业的校友薛景瑄（后为中国科学院高能物理研究所研究员）。他正在哈尔滨工业大学就读工企专业研究生，在听过前苏联教授课的基础上曾给工企专业二年制专修科学生讲授“自动调节理论”课。我翻阅了薛的备课笔记，其中第一章绪论中我见到了‘指南车’、‘铜壶滴漏’7个字。我问他这从哪儿收集的？他答从清华大学学报上读到刘仙洲的“中国古代机械发明”论文。当



图20 我国古代的指南车（推测复原图）



图21 中国自动化学会名词委员编，《自动控制技术术语：英、法、德、俄、中、日》，科学出版社出版，1987

时正是我要第一次开讲我校工企新专业“自动调整理论”课的前夕，正苦于没有一点有关我国古代自装置的资料。但一周多后，我就上了讲台，没有时间搜寻、阅读这方面的材料了。

七年多以后，1962年刘仙洲的《中国机械工程发明史》（第一编）由科学出版社出版。这勾起我对此事的回忆，多年的“自动调整理论课”授课，第一章绪论中介绍“自动调整及自动化”的发展史全是外国内容。难道中国古代就没有类似的简单自动装置？

阅读该书引起了研究指南车的强烈兴趣，我认为：指南车（图20）是一个保持方向不变的自动调整系统，但到底依据什么原理？这形成了我以后研究工作的一个方向——中国古代自动装置的原理<sup>[28,29]</sup>，再后来汇集提高成论文<sup>[30,31]</sup>。

细心的读者也许要问：早期的术语为什么称自动调整，而不是自动控制？原来建国初期学习苏联。当时前苏联的学术界术语以自动调整（автоматическое регулирование）作为广义的概念，而自动控制（автоматическое управление）是其中一个特例，即系统输入可随意变动的自动调整。而20世纪60年代以后更多着意引用英美的概念，后者则颠倒了过来，将自动调整（automatic regulation）视为输入为恒值的自动控制（automatic control）。自此，国内一直沿用后一概念。“自动调整理论”课就改名为“自动控制原理”。

了解了这一点，就会理解为什么Cybernetics在上世纪50年代中叶被译为“控制论”，因为当时自动控制被称为“自动调整”。

此外，上世纪60年代初的一次全国性的专业会议，将还未与仪表与自动化工业界等彻底统一的自动化术语进一步进行统一：调整、调节统一为调节；拖动、驱动、传动统一为拖动，转移函数、传递函数统一为传递函数等等。这就是迄今所使用的名词、术语。

如今多少年过去了，工业企业电气化专业随着国家工业生产的技术进步和专业任务的变动也逐步发展成为：

工业企业电气化 → 工业企业电气化及自动化 → 由工业自动化 → 自动化。而自动控制专业原先的名字也是照搬苏联的“自动学与远动学”，则于20世纪60年代初改称“自动控制”，而如今与“工业企业电气化专业”的“工业自动化”合并称“自动化”专业<sup>[1]</sup>。

### 9) 控制术语的统一

上文第4节提到我在研究生论文研究工作的后期，就收集到的反再生稳压器材料写了一篇有关综述《反再生稳压器分析》，发表于《电信建设》杂志1951年第9期<sup>[32]</sup>。这里的“反再生”（degenerative）就是在电子技术、无线电工程中习用的对负反馈的称呼。稳压器（voltage stabilizer）也是电子技术中的提法，在控制科学中称为电压调节器（voltage regulator），当时控制科学里伺服机件的词汇居多。其时这两个学科中各自有一套术语和表述方法来描绘同样的事物，系统闭环结构图也有些差别。而在过程控制工业中，又有另一些习用词汇，如控制器（controller），比例、积分及微分控制，整定等等。在我1949年攻读研究生接触英文控制书籍、文献开始，慢慢地就发现三个领域的术语和词汇不完全统一。

该综述<sup>[32]</sup>除了介绍一些一般调压器及其部件外，也谈及特殊调压器，如全电子管式的电子稳压器（稳压电源中常用）、伺服电机带动的机电式交流工频电压稳压器（交流稳压电源）等。综述将电子技术中的一套对稳压器的分析、构建方法与自动控制系统的分析、构建方法加以对比。综述最后强调了两者的一致性：全电子式反再生稳压器就是一个负反馈的电压自动控制系统。

这观点现在看来很粗浅，但可能是国内第一篇有关稳压器（电源）的自动控制角度分析的综述。

国际自动控制联合会（IFAC）1956年成立以后也曾花力气统一术语、词汇。它有一个工作委员会（术语及标准化委员会）专门负责术语、名词的统一和标准化。其重要工作之一就是组织6个会员国一起编译出版《自动控制技术术语：英、法、德、俄、中、日》<sup>[33]</sup>（图21）。为此，中国自动化学会的名词工作委员会，组织委员们和编译人员按



图22 《自动化名词》（科学出版社），1990

国际自动控制联合会选出的术语翻译成中文，并组织出版。本文作者当时也是名词工作委员会的委员之一，曾参与部分译校工作。

如前所述，国内高校和科研学术界曾就名词统一问题，进行过磋商，与工业界也进行过磋商，才达到今天的一致，并由“全国科学技术名词审定委员会”下属的“自动化名词审定委员会”把关。

上世纪80年代末中国自动化学会名词工作委员会经过几年的收集、整理、研究、讨论，审定了自动化学科的一批基本的名词。1990年4月由全国自然科学名词审定委员会公布《自动化名词》（北京科学出版社出版，1990）（图22）<sup>[34]</sup>。本文作者当时是名词工作委员会副主任，曾亲身全程参与其事。

## 10) “自动控制原理”课程面临内容改革

在最早的计划经济时代，自动控制专业是“众星拱月”式，就是它处在中心位置，其他化工自动化、冶金自动化、拖动自动化（工业自动化）、检测技术与自动化仪表、军工自动化专业等专业环绕四周。控制教科书也是唯自动控制专业的主干课程“自动控制原理”的教科书“马首是瞻”。

如“研究报告”所言，随着我国的改革和开放以及社会主义市场经济的逐步形成，控制和自动化类专业面向转型和改革。因而“自动控制原理”课程也正面临“变革”。这一方面是因为专业任务的变动，另一方面是由于控制科学和自动化本身的迅速发展。

记得在上世纪50年代初，只在工学院有些专业内设置“自动调整理论”课程，最早（在交通大学）是在工业企业电气化专业和电机电器制造专业。其他如在动力工程系锅炉专业、汽轮机专业等都将自动调整的问题或概念与专业对象、所用传感器、调节器及执行装置等结合起来讲授，如“锅炉自动调整”、“热能自动装置”等课程。

但是，20世纪50年代末就要加上新建的“自动学与远动学”、“工业自动化”、“计算机”等新专业，都开设“自动调整理论”课。以后更逐渐扩展到军工、热能、锅炉、核能反应堆，都开设“自动控制原理”课。改革开放后，机械、建筑、管理、经济、农林、生物医学等专业也陆续开设此课，但仅是线性部分。这充分证明了自动控制理论和应用的广泛适应性，以及科技发展对该理论的强烈需求。

自动控制专业一开始就设定为“自动控制原理”课程包括“线性自动控制理论”、“非线性离散控制系统理论”及“离散系统理论”等内容。这已经不是伏龙诺夫这样的部定教材所能覆盖了，这就突出一个教材的建设问题。

几十年来，一些重点的工科院校差不多都有自编的“自动控制原理”教材；另一方面为广大非自动化专业适用教材的建设问题就更突显出来了。这类教材不仅是讲授线性自动控制的原理，更应介绍它在有关专业领域的应用。

并且，各专业还有些各自的补充需求，如有的需要些“系统辨识”（建模）的基础知识、有的需要“智能控制”、有的需要“自适应控制”、有的需要“滤波和估计”、有的需要“最优控制”的基础知识，……等等。更多的还需要上述2种以上的这类知识。对于自动化类专业，教学计划中安排有后继的课程或选课能满足类似需求，而广大非自动化专业的学生怎么办呢？

从控制论的高度，使教材包含除自动控制原理外上述多方面内容以及其他各方面应用，并直接冠以“控制论”的书名。这是一种可考虑的作法。

在这样的需求下，本文作者会同韩崇昭，蔡远利教授，编著了一本为满



图23 《控制论——概念、方法与应用》

足广大非自动化专业本科生或研究生这类需求的教材,作为一种改革的尝试。从控制论的高度,使教材包含除自动控制原理外上述多方面内容以及在各方面的应用,并直接冠以“控制论”的书名:《控制论——概念、方法与应用》<sup>[35]</sup>,清华大学出版社出版,图23所示为其2009年的第2版。

上海交通大学电信学院以席裕庚教授为首的一些教授,大胆尝试为非自动化专业学生,以该书为教材,开出“控制论导论”的课程,已经3届了,并配有实验。

未来,为了更能结合专业,这类课程及其教材很可能需要分为三种类型:①为工科、非自动化类型的专业,如上述教材;②为社会科学类型的专业(经济、社会、管理);以及③为生物、医学、生态等专业。实际上,就作者所知这些内容的教学在不同的院校正在进行着,如西安第四军医大学进行上述第③类型的课程。有的学校也在为生物医学工程本科生讲授类似课程,有的在研究生教育中,采用了各种不同的课程名称。而作者合编著的该教材仅适合工科院校的本科生或研究生。其他所需的新教材应由授课教师根据控制论的核心原理和理念进行创新编写。核心原理和理念部分可参照作者的论文<sup>[36,37]</sup>中汇集的内容,而不是抄录自控技术书籍中以机电控制为对象的例子。因为,这些专业学生所需的不是要理解高度自动化的复杂生产机械或参与其设计的知识,而是对从生物到生态系统的、从机体外部动作到细胞一级的信息联系、与外部的反馈、模型化、适应和进化等方面的知识。

再一方面,在工学院的教材中作为主体的自动控制原理部分又应该如何“吐故纳新”?在引入MATLAB数学软件的情况下,教学如何改革?回顾20世纪50、60年代的教材,贯穿这一主线:时域法因为要求取闭环系统特征方程式的根,才

能解出闭环系统的微分方程。所以,不得不寻求间接的代数稳定判据,同时又被有一定实验基础的频率法所代替,后者有一套工程算法和列线图。最后用梯形法求解闭环系统被控量的过渡过程。此前,还得运用“系统动态品质指标的间接评定”方法(开环零极点估计法、频率法等)对闭环系统的动态品质进行初步估计,差不多了,才去求解被控量的过渡过程。

然而,上世纪50—60年代模拟计算机的出现,使得基于运算放大器采用按环节进行模拟和整个系统模拟的方法,可以按实际系统结构构建以模拟计算机模拟的闭环系统,从而在模拟机上测得或显示得到闭环系统输出的过渡过程。这已经开始撼动了上述“自动控制原理的主线”,到了后来数字机的引入和CAD的出现,使得这种撼动倾向更强烈了。MATLAB数学软件的出现使得本文作者思考:“稳定判据”部分的课程内容可以缩减,而课程中向来是重头戏的后续“系统输出动态品质的评定和过渡过程求取”这一部分是不是可以只讨论系统动态品质好以及输出的时域和频域 $P(\omega)$ 间的关系,具体的近似方法大部或全部舍去?

而主干的自动控制原理课程应该讲授的是自动控制系统的分析和综合的原理和方法,所以综合应该在这门课中讲授,然而讲的不仅是随动系统,并包括扰动条件下的综合等。后者在以MATLAB/Simulink仿真下也不难做到。

而经典控制理论后续的一些重要科研成果:最优控制、自适应控制、现代控制理论和智能控制等要不要引入在《自动控制原理》中讲解?讲得多深?在MATLAB数学软件支持下课程以“时域法”,还是以“频域法”为主线?或者,两者都不是;而是以MATLAB/Simulink仿真下自动控制系统的分析及综合法为主线。后者正是作者们

在《控制论——概念、方法与应用》新著中的思想<sup>[35]</sup>。

自动控制原理课程的内容改革就这样推进吗？

### 11) 结束语——重温历史记忆，不忘砥砺前行

重温控制科学在国内的传播和教学的历史点滴，本文想到的是：

在国内自动化学术会议上，邀请、组织顶级专家作综述，或介绍国外新成就，新见解、新的名著。这一点已经在进行，应该坚持；

国外著名控制教科书的国内影印和传播历史上曾对控制学科起了非常大的推动作用。高等学校自动化专业教学指导委员会对国外新的获好评的控制教科书，能有计划地组织介绍、推荐、翻译、出版，以促进广泛学习、讨论；

研究生论文工作，若是参与（或部分参与）研制新仪器、设备，则应该配备一定的加工力量，准备必需的部件、元件，避免研究生从事过多的事务和劳动，影响研制中的创新，从而提高论文学术水平。而制成品应有指标鉴定和理论分析。学术要求不应受政治风云变动的影响；

新学科的科学研究的往往从学习、消化时的思考开始，即使如此，书本上的“权威”方法是可以质疑、甚至改进的；其后应该通过课题、基金和项目迅速转向国家和国防需要的课题，以发挥高等学校科研力量的作用；

1990年公布的经审定的自动化名字迄今已28年，新出现的术语、名词不少，如在智能控制（包括神经网络、网络控制）领域，还有一些交叉领域，如cyborg、心理控制、认知控制等的研究领域等等。希望现今的自动化学会名词工作委员会能早日审定、公布补充的审定结果；

各类型的控制教科书的建设已经迫切地提到日程上来了。如何改革（本文强调内容的改革，吐故纳新），自动化专业教学指导委员会和中国自动化学会教育委员会应领导有组织的讨论、集思广益。

让我们按此砥砺前行！

### 致谢

作者感谢西安交通大学档案馆姬鹏飞先生，帮助提供内部刊物《交大电机》资料，从而找到萨本栋的“伺服机件”讲解报告。

## 参考文献

- [1] 教育部高等学校自动化专业教学指导委员会著. 自动化学科专业发展战略研究报告. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [2] 李若梅. 八十年回首, 历史不可承载之重——中国电机工程学会建会80年有感. (卷首语). 中国电机工程学会会刊. 动力与电气工程师. 2014, 1-2页.
- [3] 豆丁网. 65年前中国电机工程师学会的一次讨论. 转载自1946《电工》杂志. www.docin.com/p-155201.
- [4] 陈太一. 怀念张钟俊老师和他创建的交通大学电信研究所. 刊于“席裕庚主编.《厚德博学, 孜孜一生——纪念张钟俊先生诞辰100周年》”. 上海: 上海交通大学出版社, 2015”, 120-121页.
- [5] 中国电机工程师学会国立交通大学学生分会编印. 交大电机. 创刊号. (年刊). 1947, 4月8日, (交通大学内部刊物, 西安交通大学档案馆珍藏).
- [6] 萨本栋. 伺服机件(SERVO-MECHANISM). 交大电机. 创刊号. (年刊). 1947, 3-14页. (“交大电机”系交通大学内部刊物, 西安交通大学档案馆珍藏).
- [7] 何国森. 怀念张钟俊教授. 刊于“席裕庚主编.《厚德博学, 孜孜一生——纪念张钟俊先生诞辰100周年》”. 上海: 上海交通大学出版社, 2015”, 122-123页.
- [8] 陈珽. 怀念张钟俊老师. 刊于上书118-119页.
- [9] 施頌椒. 张钟俊(条目). 载于: 中国大百科全书: “自动控制与系统工程”卷, 572页, 北京: 中国大百科全书出版社, 1991年.
- [10] 席裕庚(主编). 厚德博学 孜孜一生——纪念张钟俊先生诞辰100周年. 上海: 上海交通大学出版社. 2015.
- [11] 韩正之. 中国自动化技术的开拓者——张钟俊. (张钟俊先生诞辰100周年纪念活动会上散发的小册子). 上海交大自动化系印. 2015. 也刊于上书6-13页.
- [12] 史贵全. 新中国成立前培养工学硕士最多的机构——交通大学电信研究所. 中国科技史料, 2001, (1):, 53-65.
- [13] 张钟俊、魏凌云. 无线电操纵飞机原理之精度. 交大电机. 创刊号. 1947年, 23-24页. (“交大电机”系交通大学内部刊物, 西安交通大学档案馆珍藏).
- [14] Hazen, H. L. Theory of Servomechanisms. J Franklin Inst., Sept. 1934, 218: p209-331.
- [15] 蒋大宗. 交通大学西迁的历史记忆, 刊于: 房立民主编.《交通大学——西迁亲历者口述史(1)》, 西安: 西安交通大学出版社, 2016. 89-125页.
- [16] 万百五. 伺服控制反再生电机机械减生稳压器设计. 研究生论文. 交通大学电信研究所. 1951年. 西安交通大学档案馆珍藏.
- [17] 徐俊荣、万百五、郑守淇、王众托译, (前苏)阿·阿·伏龙诺夫著. 自动调整理论基础. (第2版, 补充和重写本) 北京: 水利电力出版社, 1957. 1960年中国工业出版社等重印.
- [18] 何文蛟. 自动调整原理. 上海: 上海科学出版社出版. 1959.
- [19] 刘豹. 自动控制原理. 上海: 中国科学图书仪器公司出版. 1954.
- [20] Gertler, Janos. Historic Control Textbooks. (IFAC Symposia Series). Publisher: Pergamon Press. 2006.
- [21] 刘豹. 自动调节理论基础. 上海: 上海科学技术出版社. 1963.
- [22] 陈辉堂. 随动系统. 北京: 高等教育出版社. 1961.
- [23] 王懋鏊. 继电器接触电路的一个等效关系的证明. 浙江大学学报, 1956, (1): 83-84页.
- [24] 谢绪恺. 研究线性系统稳定性的新方法, 在第一届全国力学学术会议宣读, 1957年2月5-10日, 北京.
- [25] 王众託. 按虚频特性近似寻求过渡历程曲线的简化方法. 大连理工大学学报, 1956, (3): 37-47页.
- [26] 万百五. 按频率特性求过渡过程及品质指标的方法. 上海交通大学学报. 1957, (2): 110-128页.
- [27] 万百五. 线性自动调整系统的综合. 自动化, 1958, 1(3): 99-114页.
- [28] 万百五. 我国古代在自动调整系统方面的成就. 西安交通大学学报, 1963, (3): 118-124页.
- [29] 万百五. 我国古代在自动调整系统方面的成就(补遗). 西安交通大学学报, 1964, (4): 118-125页.
- [30] 万百五. 我国古代自动装置的原理分析及其成就的

探讨. 自动化学报, 1965, 3(2): 57-65页.

- [31] 万百五. 中国古代自动装置(条目), 载于: 中国大百科全书“自动控制与系统工程”卷, 589-591页, 北京: 中国大百科全书出版社. 1991.
- [32] 万百五. 反再生稳压器分析. 电信建设. 1951, 2(9): 703-709页.
- [33] 中国自动化学会名词委员会编. 自动控制技术术语: 英、法、德、俄、意、中、日对照. 北京: 科学出版社. 1987.
- [34] 自动化名词审定委员会. 全国自然科学名词审定委员会公布: 自动化名词. 北京: 科学出版社. 1990.
- [35] 万百五, 韩崇昭, 蔡远利. 控制论——概念、方法与应用(第2版). 北京: 清华大学出版社, 2009.
- [36] 万百五. 21世纪控制论的发展态势——纪念控制论创立七十周年(1948—2018). 控制理论与应用. 2018, (35)1: 1-12页.
- [37] 万百五. 21世纪控制论综述评论集. 广州: 华南理工大学出版社. 2018.



【作者简介】万百五, 教授、博士生导师。1928年9月生, 江苏南京人。1949年毕业于交通大学电机系, 1951年该校电信研究所研究生毕业, 留校任教。1958年任西安交通大学自动控制教研室副主任, 1978年调任系统工程研究所大系统研究室主任。1980—1981年公派在英国伦敦 City University 系统科学系任客座高级研究员, 后1990年被聘为客座教授。曾任中国自动化学会常务理事以及国内三个顶级控制杂志编委、英国机械工程师协会会刊 Part I 《Journal of Systems and Control Engineering》杂志编委多年; 曾任国际自动控制联合会(IFAC)大规模复杂系统技术委员会委员近20年。专长大系统理论与应用的研究。曾获陕西省科学大会奖及省(部)科技进步一等奖两次、二等奖两次、三等奖一次, 并被授予“陕西省科技精英”及优秀博士生导师荣誉证书; 享有国务院给予的政府特殊津贴。有著(译)作7种出版, 包括教材《控制论——概念、方法与应用》(第2版), 清华大学出版社, 2014; 专著2本: 《大工业过程计算机在线稳态优化控制》(科学出版社)及《工业大系统优化与产品质量控制》(科学出版社), 并有410余篇学术论文在国内外期刊等发表。入选《20世纪中国知名科学家学术成就概览·管理学卷》(科学出版社)。