

铁道部科学研究院 论文集

铁道基础理论专辑

7

1980

目 录

〔编者按〕 每篇文章的内容，由作者自负责任，编者不审查内容的业务方面，只审查政治问题。目录的次序，依文稿收到时间的先后安排。先收到的排在前面，后收到的排在后面。

机构学国外及国内发展沿革及趋势兼论水平差距——李学荣.....	(1)
堆垛机主体机构的研究——李学荣.....	(16)
倾斜机构的初始设计——李学荣.....	(24)
铁路轨道振动的理论研究——邢书珍.....	(31)
加油站与给水站合理分布的计算法——徐在庸、茅于軾.....	(46)
内燃机车振动微分方程组——冯登泰.....	(56)
内燃机车垂向振动方程组解法的研究——冯登泰.....	(83)
北京型3000马力液力传动内燃机车轴箱油压减震器（一系垂向） 对于机车震动衰减作用的研究——冯登泰.....	(97)
内燃机车走行部结构参数减振作用的分析——冯登泰.....	(117)

机构学国外及国内发展沿革 及趋势兼论水平差距

李学荣

(本文为国家重点科学规划第98项机构学学科规划落实会议而作)

提 要

本文从政治、经济、生产、科学、技术、军事、探测等方面阐明机构学的重要性，机构学的兴起与式微，并考究其历史原因。目前的情况与对机构学的期望，未来的发展趋势。兼论机构学与其它学科的差距，国内与国外水平的差距。

一、机构学的重要性

机构学（特别是机构综合学）研究的目的在于能够作为一种指导性的理论，供新机器与机构的发明创造者作为准则或参考，促进新机器及机构的发明及创造。

说起机构学对产业界生产上所起的作用，不能不从机械制造业对于生产上所起的作用谈起，说起产业界（多数）都离不开设备投资，而大多数的生产单位，都离不开机器的投资。无论是石油的开发、提炼与运输或是汽车的大量生产等等，都离不开机器及机构的运用，机器在生产中的作用，人所共知，毋庸强调。一言以蔽之“机械工业是工业的心脏”。那么机构学对机器工业又起到多少作用呢？回答这样一个笼统的问题，是比较困难的，机构学对机械工业所起的作用，随着国家工业化的程度而异，随着国家机械工业发达的程度而异，一般的可以这样认为：工业越发达，特别是机械工业越发达，则这个国家的机构学就越起作用。在机构学越起作用的国家则新的机器与机构创始也越多。学科的发展与生产的发展互为因果。为了有一个比较明确的认识，我们举西德为例，在一份1973年前后的论文中，提到机构（学）（Getriebe）对于产业界所起的经济效果是这样的，由于机构的发展使整个产业界蒙受增产的好处约占13%（因其它的进展而受益的有新材料、新工艺、新刀刀具、新的管理方法等等）。当然，“Getriebe”所谓“机构”的发展主要离不开机构学（Getriebelehre）

*本文初稿完成于1978年底，79年改订并增入参考文献。

的研究进展。举一个西德的实例，汪克尔（Wankel）发动机是完全不同于往复式的转子发动机，正是由于汪克尔是先研究机构的，后从事内燃机工业，故有汪克尔发动机的创制。这是从这个工业比较发达、机械工业也是比较发达的国家来说的。至于其它工业、机械发达的国家呢？因未作详细调查，说不准，但从许多国家，许多内学，机构学会议的频繁，可以看到这些国家对于机构学重视的这一侧面。我们可以这样论断，如果机构学在这些国家并无多少作用，那么没有必要无的放矢。

上面我们只是从生产与经济效益来衡量机构学在起些什么作用。现在我们从科学与军事及政治上来衡量机构学的作用举一、二个例子。第二次世界大战以后，盟军战胜了希特勒，战后美国派了科学考查团去德国，寻找科学技术档案，与罗致人材，这是科技界四十年代中后期著名的事件（出名的例子是盟军因德国阻击手用红外瞄准器打冷枪而死伤高级将领，需了解红外技术等等），其后出了PB及AD报告，美国的影印书商大肆印德国的专著（在当时美国落后于德国的一些学科的专著）其中有R. Beyer著的工程运动学⁽¹⁾ Meyer Zur Capellen著的数学仪器⁽²⁾等书，这以后累罗（Reuleaux F.）学派在机构学方面的研究成就，为美国所重视⁽⁴⁾⁽⁶⁾，同时，美国有许多学者（如De Jonge, Freudenstein, F. Hartenberg等等）在杂志上呼吁美国在机构学上比较幼稚，呼吁要向德国学习，其后，R. Beyer曾数度赴美讲学作为客籍教授，Reyer死后，又请K. Hain赴美讲学亦作为客籍教授（当时K. Hain在德国连特许工程师学位还没有，更不是博士和教授），对于崇尚实际效果的美国人来说，打破了学衔概念，请了一位高工毕业

（相当于我们中专）的工程师到美国作客籍教授，而台下听众有许多美国大学教授机械原理的权威，这也是学术界少有之事（虽然后来Hain得到本国的荣誉博士，退休后当了Braunschweig大学的学术顾问委员）由此可见美国学术界对机构学的重视，也是迫于生产上的要求，而苦于无人作创始意念的设计师。再举一个例子，说明美国的机械学从四十年代后期虽已加强教学与研究，但到六十年代后期仍然落后于德国及苏联。苏联到月球取回土样，使用了自动取土器，就是运用了遥控技术，让机械执行机构执行取土任务，及其后美国随后到月球取土，却派了宇航员亲赴月球取土，单纯从取土这件事而论，自动取土而回与派员去取土，无人比有人要自动化和机械化得多。当然单从这一方面来判断并不能令人信服，我们就此事再伸引再探索一下就可以了。在加加林第一次宇航成功后，美国的科技界惊叹科技落后，特别是教育界知名人士开了一个著名的改革教学座谈会⁽¹¹⁾，要赶上与苏联在尖端科学上的差距，经过这次座谈，对于美国在尖端科学方面全面赶上苏联制定了计划，修改了课程这是肯定的，也是轰动一时的事，但其中包含不包含机构学呢，很难说，但从六十年代中后期的美国机原教材与机构学与机构综合学的书籍中，都增加了累罗学派机构学研究方法与研究成果；要赶上德国学派的呼吁是有目共睹的事。（特别是在研究生教材，与这些教材序言中的表现⁽⁹⁾）。例如，我国学者比较熟悉的美籍华裔机构学家陶德昌（D. C. Tao），因编著了一本介绍累罗学派的连杆机构综合⁽⁸⁾而享有盛誉。由此可见，美国当时这门学科的水平以及其重视的情况。另外，在1978年的国外新书展览会上，看到美国MIT的研究生课程大纲，在这个大纲中反映了许多当代的最新课程与尖端课程，此课程大纲中包含有Burmester机构综合理论的自动机构设计原理（约74学时），从这个大纲的总纲说明中说是为了培养尖端科技人才而设置的，究其内容，尚未超出Denavit & Hartenberg合著的运动学与连杆机构综合的范围。以此判断，这在西德的著名大学中，如：Aachen, Braunschweig, Hanover东德的Dresden大学中，大学生就已接触到这些内容的实质了。所以说美国在目前阶段仍逊一筹，但从他的人数，研究的劲头来看，是不会久屈人下的。

在上面我们单谈重要、重视是不够的，谈一谈科学上的重要性、必要性，也举一、二个例子，美国有一颗原子弹掉入海中，据说这颗原子弹有乒乓球那么大，下海捞弹，有人说用潜水员，有人说是机械手，但是从科学发展上来看，深水潜水机械手与机械人是势在必需（因人在深水中不能承受那么大的压强），原子工厂的机械手与机械人也必不可少。机械的爬墙虎可以载人直上陡壁（对造船工业很有利），鱼和蛙的仿生机械另有特定的用途。南斯拉夫研制机器人已能实用于耕田。瑞典最近研制了水下机械手，美国有金星（飞行器）机械人，要攀登科学高峰，这种机械人和机械手要凭藉机构学的进展。目前公开报道的是机械人还不太会走路（这在机械学上叫走行机构），因为移步时，机械人不能（不易）克服重心的偏移，两个腿不行，三个腿也难，这还是一个攻关课题，说到这里，有人会泄气，即使会走路又将为何呢？这是没有问题的，到了机械人自在走路时，机械人的效用我们现在怎么预测，也不能料到将来真正问世后的广大用途。

说到这里，我们举两个机器制造业的小例子，在双轮自行车发明之初，充其量不过是马戏团的一种道具，谁能想到今日竟能成了我们上班时的重要交通工具呢！吹干头发的吹风机谁能料到日后在许多实验室里成为必不可少的得力工具呢！现在许多国家在研究机械马、机械骆驼、机械蛇、滑雪机械人。在这里机械人不会走路而会滑雪，岂非怪事。实际上在机械动作模拟（或者更确切地说叫做仿真）人之动作与人本身所感知的难易程度是不一致的两回事。我们再拉回重说机器人，目前机器人走路困难（指目前已知的公开水平），手也很笨，特别是在大区域的空问（三度空间）定位精度是非常低的，我们可以设想一、二个厘米（无论在X、Y、Z轴随便那一个方向）的误差，光凭金属手臂的刚体，弹性误差就把加工的全盘精度吃光，目前机械人（更引人惊异的智力机械人），其难不仅在于电学、电子学、计算机、控制论，也难在机构学，不但难于机构学的远远跟不上要求，而更难在为广大科技界人士不了解。机械人、智力机器人的诞生主要是机构学的不前面拖着后腿。美国的电影“未来世界”中的栩栩如生的机器人。就目前来说，尚不过是一种幻想憧憬罢了。

再说机构学在政治上有什么意义呢？根据前面已介绍过的情况，苏联的登月无人取土自回，美国金星计划中的金星机械人，不论这些究竟是什么样的东西（因保密不得而知），就这些事例由报纸上登载、人们读到它，对于这个国家的科学成就（当然包括机构学的科研成就）对世界其它国家的人民所起到的影响，特别是政治上的影响，难道是可以等闲视之的吗？所以说，对科学上的影响是很大的，对经济上的影响是很大的，对政治上的影响更大。

最后还要说一说军事上的影响，因为军事工作是保密的，国外正在搞些什么？只能用推测或臆断来猜想，并不能确切地说明。但从过去的事例来看，机构学曾发生过一个明显拖其它部门后腿的突出例子。在第二次世界大战期间，英国发明了雷达对于纳粹空袭的猖獗，在侦察方面有了绝对性的办法，但是反击的手段，使用高射炮时，高射炮的瞄准射击器不能适应雷达跟踪的需要。当时美国、英国对于高射炮射击瞄准器中的函数计算机构都无甚研究，因此虽有雷达在反击瞄准上这一薄弱环节上，拖住高射炮不能发挥应有作用的后腿，其后由在法国研究所工作的捷克人 Svoboda A. 做出机构模拟计算装置。作为射击瞄准器中的运算器，从而解决了雷达跟踪的问题，随着高射炮火随机瞄准而反击，这才真正制服了纳粹的空中优势。Svoboda 的这一册连杆机构计算装置列入了当时著名的雷达丛书第27分册⁽¹⁰⁾，从此，机构（特别是连杆机构）的计算装置与机构综合方法一时引起了绝大的重视。美国在之后引入了许多累罗学派的机构著作（一时由于翻译不及而直接影印）与此事不无有一定的联系。当然，目前袖珍电子计算机，完全能代替机械的计算模拟机构。但雷达的转动接收器，

又成为机构学上的突出问题（无线接收器），在航空上的要求，地面接收站，与卫星上的天线转动器都是具有军事价值的研究课题，我们可以设想，激光射击器（亮光，在短暂时间内发出大功率的激光）对于瞄准的要求，自然更高。在这里，不再是推算装置而是照准的转动头（或激光射击器本身）需要在三向空间精确，迅速地定位，这种要求之高，可以想像得到，苟有失误，则大功率激光发生器的所产生的功率将损失殆尽。另外，我们前面谈到的机械骆驼未尝不是沙漠行军的利器，机械兔、机械蛇未尝不可以代替坦克阵地战，并且是偷袭敌军的不易防范而价廉的设备。这种说法，乍听之下，也可能认为是奇谈怪论，无稽之言，可是我们冷静地来分析一下，造一个坦克和造一百个机械兔或蛇来对比，价格不可以道里计，而前者人们已习于防卫，而后者却无入脑际，兵贵神奇，偶一为之，何尝不能建立奇勋，所以这种推测与臆断，决非荒诞不经。

二、机构的绝对水平与相对水平均相当低，研究的队伍小

按前面的叙述，我们看到机构学的重要性与目前的要求不相称，其全面水平（无论是相对或绝对水平是远远跟不上近代科技发展的需要。许多科学的进展，被机构学的进展缓慢而拖着后腿。显著的例子是深水潜水执行机构，仿生机构，科学上运用的机器人，以及工业企业提出来的复杂动作机械化的任务。说到这里，也可以举一个日常生活中习见的例子，许多女同志织毛衣就凭几根细长针穿来插去，织出长短肥瘦各种花纹的衣服，就这件事说来也还未做到让几根细长针代替人手去编织。用这种尺度来衡量机构学，特别是机构综合学，就感到与其他学科相比，在许多极平凡，看上去极简单的工作上都无能为力，显得太幼稚，怎么能说机构学的水平能够与20世纪的其它学科并肩看齐，负担起科研上许多课题凭藉机构学帮助去解决呢？当然人类还未能创造出一种织毛衣的机构比拟人手以致胜过人手（指其简单而言）并不能说明机构学就全面的不行不能与其它学科并肩作战，说是拖了后腿，未免武断或是偏激了罢，上海羊毛衫厂不是有程控织毛衣机了吗①？我们举上面的例子是从机构学上、运动学上，人类进展到目前阶段的文化水平上、科技水平上，来综合衡量而责难的。如果我们用化学和机构学来对比，机构学的幼弱就显而易见了。

现在我们把化学和机构学对比如下：

化	学	机	构
经过化学家的了解了解物质的结构。	化学家探索物质结构的最基本单元。	经过机构学家的研究想了解机器的结构。	机构学家探索机器结构的最基本单元。
经过化学分析发现氮、氢等元素		经过机构分析发现螺旋、滑车、杠杆、凸轮、齿轮等机构元件。	
经过长期的努力发现元素的总数，制订元素周期表。		经过长期努力不明机构元件的总数（例如弹簧是否算一个机构元件）。没有一个机构元素总表。	

①在这里需要把机构学的难度与电子学的成就区分开来。再则，在许多场合，电子学并不能代替机构学解决运动综合问题。

接上表

能确定尚未发现的元素，并指出它的属性及某些定量的性质。元素周期表经过考验，根据已有的研究并证实其正确性的。

发明了许多化合物的结构式，能指导实际。

化学从分析走向综合。

化学家凭藉化学上的理论合成新物质。

不凭藉化学理论合成新物质的事例不多。

从事化学研究的人数比从事机构研究的人数多得多。

化学研究促进合成新化学物质成为普遍常识。

没有一种指导性理论指导发现新的机构元件。也不能预测新的机构元件会有那些属性，更谈不到某些定量的性质。

发明了一些机构结构公式，发现漏洞很多。

机构从分析走向综合。

机构学家凭藉机构学的理论综合新机构。

不凭藉机构理论综合成新机器的事例很多。

从事机构研究的人数比从事化学研究的人数少得多。

机构研究促进综合新机器的创新、知者颇少。

在上面我们对比了化学的进展与机构学进展，对比化学上的成就，化学上理论的成熟性与机构学上理论的幼稚性，化学的成就与重要人所素知，机构学的成就与重要性不为人所习知。化学研究工作的日益壮大（指世界范围而言），机构学研究的队伍相形见拙，特别是不能吸引有志之士大量地在从事这方面的工作（在这里还要插一句，从事化学工作的人或多或少地要多少想去探索一下化学的基本理论问题，相形之下从事机械工作的人或多或少地想去探索一下机械的基本原理。这两种人数的对比，也是不可以道里计，就是说从事化学而兼想探索化学理论的人数要比从事机械工作兼想探索机械原理的人数要多出不知多少倍^①。首先，化学这一个大行业与机构这个行业的研究队伍、化学研究工作的队伍不知要大出机械研究工作的多少倍^②。我们也可以从这里产生一种疑问，是研究人员少而成果少呢？还是因为成果少而引导很少人去问津呢？这也是机构学在学科上远远落后于同时生长起来的一些学科（例如化学）的一个互为因果的原因。另外再从化学专业的专利与机械业在机构学方面所研究出来的机构专利与机器专利相比。显然化学指导实践的意义，远比机构学指导实践的意义来得显著。这就是说化学的科学性比目前机构学的科学性要强得多。不仅如此，一般地说，机构学虽然同其它学科同时兴起生长，其生长过程远比化学等某些学科缓慢，自然就显得幼稚，这不仅拖了其它学科的后腿，而且也影响了自己发展的进度。由于这种后继人手不足（指全世界范围而言），如不及时吸引有才智的人士从事这方面——机构学的研究，急起直追，迎头赶上其它学科与时代相适应的水平，预料今后一段时间^③还会远远落后于其它学科的进展，拖其它科学技术发展的后腿。关于这种隐忧在许多习见的杂志中如美国的Machine Design，德国的Konstruktion，VDI，以及在Springer出版的设计书中都一再呼吁设计水平（包括机构与零件这两方面）跟不上发展，没有大量后备的才智之士愿意选择这样一科冷门——机构学^④，作为终身从事之业。实质上这门学科，给人以一种印象，费力多而成功少，远不如新

①指世界范围而言。化学研究人员的总数比机械研究人员的基数大得多。见《Machine Design》杂志近年的许多期都有这样的说法。

②指全世界学术范围而言。

兴的学科那样富有易于看得见的“努力即有所得”的发展前途。在大谈“带头学科”的时代，许多学生感到搞机构学是炒冷饭^①，拣拾不时兴的学科^②。上面我们用科学对比（特别与化学对比特别显著）最富有说服力。正因是冷门、炒冷饭则在一些国家体会得较早，如美国及日本要力图赶上世界水平，并大力提倡，从而也挽回了同世界水平原来的过大差距，但从全球学术界来说，还没有引起科技界的重视与体会到说是机构学太落后，要大力提倡。在前面，以化学作为对比对象，为的是显明易懂，其实，机构学与电子学、电工学、计算机、自动控制、宇航、农业、半导体，这些学科来比，都是相形见绌，迁缓可笑。

可是机构学无论在政治、经济、科学、军事、生产、探险种种方面都有决定性的意义，无怪乎许多国家对古老的机构学从新加以重视，我国国家科学委员会对机构学列入重点国家规划第98项亦正如此。

三、机构学的兴起与式微

早在17~18世纪产业革命、蒸汽机^③、纺织机^④、机车^⑤、轮船等相继发明，机械学成为热门学科，一时有机械无所不能、无往而非机械的机械时代，惜乎好景不常，其后为电学^⑥兴起而冷落，由机械时代而进入为电世界。再后，电子学兴起，无线电发明，电子学一时响遍人环，科学界喻为“电子姑娘，处处受到欢迎”成为电子时代。其后，原子学大兴，进入原子时代。即至人造卫星上天，进入宇航时代^⑦。综上所述，机械学方兴待兴，犹欲大兴之时，被后起科学（现在所谓“带头科学”）取代其优势地位，机械学之不振，一方面成效不若后起者吸引人，另一方面也正由于进展缓慢而不能吸引优秀学人终身从事。这样，因果相生，故未能在后起学科大振之前，大踏步前进。当中有一段时间未能为人重视，现在我们对于这种提法，提出若干证据。

蒸汽机发明时有曲柄连杆机构的研究高潮，飞轮调速器发明时有机械化的、机械自控概念之产生，蒸汽机车发明，有倒顺车伐动装置司汽机构之产生，瓦特由于将往复运动复为直移机构，发明了多种行星绕日机构。这些成就从今日的技术科学水平来看依然不低，可是这些发明，未从理论上加以提高，一直未能在原有基础上有多少进展。

①在国外的文献中，经常用“艰涩”的学科来形容它的踌躇不前与难度。

②正确的理解，应为古老的机构学应赋予新的内容，老学科要翻新。

③1705年前后纽康门发明蒸汽机，瓦特1764年在纽康门的基础上发明具有冷凝机的蒸汽机。

④1765年哈克立夫斯1769年阿克莱德等先后发明纺纱机。

⑤1826年史蒂芬生（1781~1848）创制出第一台每小时15哩行驶速度的火车。为了火车头能解决既能前进又能后退，并能快能慢，许多机构学家研究了伐动装置（司汽机构）。

⑥1831年法拉第发现电磁感应现象，奠定了电学基础。1872年比利时人格拉发明电动机，从此产生了电机工程，到二十世纪随着电子管的迅速发展，电机工程又分出电机和电子工程，据1970年前后的统计，电工和电子技术工程是世界上人数最多的工程技术工种。

⑦1903年莱特兄弟首创750磅重的12马力飞机试飞成功，人类由于机械学的发展，从两度空间的生活，进入了三度空间的活动范围，此实乃宇航之始。

严格地说，早期机器、机构研究的深入程度是颇为惊人的，机车传动装置的诞生，应当认为给连杆机构的综合奠定了基础，但相反，从1840年前后这80年的时间中，都无大进展，直到1923年前后，才有H. Alt提出机构综合的概念。

化学工业在1880年前后因为化学制品的大量生产而要求发展合成化学，可是1826年已经是火车、轮船（富尔顿于1803年发明蒸汽动力船）均已具备，交运上的要求可谓迫切，而机构学上的综合要求迟上这么多年，真属奇怪之事。

为了说明这80年中机构学遭到冷落的原因，也可能有这么一种因素。作者臆测，在机构时代兴盛一时的時候，因为过分强调机械运动无所不能，无往而非机械，哲学上的机械唯物论在机械昌明之后，产生了“想把一切都归结为机械运动的狂热”。正如恩格斯在自然辩证法中所说的那样“在自然科学家那里，运动总是不言而喻地被认为是和机械运动和位置运动相等的”^①。这是从化学产生前的十八世纪遗留下来的。由于同样的误解，还产生了想把一切都归结为机械运动的狂热，正是由于这种不恰当的夸大，恩格斯批判说“这样就把其他运动形式的特殊性抹煞了。这决不是说，每一个高级的运动形式并非是必然地与某个现实的机械的（外部的或分子的）运动相联系，正如高级的运动形式同时还产生其他的运动形成一样，正如化学作用不能没有温度变化和电的变化，有机生命不能没有机械的、分子的、化学的、热的、电的等等变化一样”。及至化学昌明与电磁现象的发现与电机工业的勃起，机构学就受到哲学上机械唯物论的牵累，从过去夸大机械无往而不是，无所而不能，一落为一无所能，从一个极端走向另一极端，为电学的兴起所取代，当时有志之士争相攻读电学和电学的应用。1835年莫斯发明电报，培尔于1876年发明电话，1880年爱迪生发明了电车，这时电动机已能将动力作较远距离的传输。这样，机构与机器最显著的功能——传动（传递动力）在电动机面前显得毫无神通。这样本应有较多有志之士，在各种机械出世后将要大兴之际，从事基本理论的钻研却在电学与电磁学关系揭明后，遭到电学上的挑战，吸引其后起之秀的精华转而从事于电学，故而后来电学与电子学成为人数最多的技术行业。其理论上的成就远远超出机械理论之上。

机械在产业革命中对英国建立了奇勋。但英国机械学术方面的进展并未因此而兴起，我们可以以此为证：英国于1828年正式成立了土木工程学会，获得皇家特许奖，而此时正是英国机械工业独霸全球之际，即便如此，对机械工程学的重视就学会的成立此点而言，尚不如当时的土木工程受到皇家重视，这难道是偶然的吗？可能是：一方面以数学、力学作为机械学的化身，一方面多少感到机构学仍然属于经验的堆砌。还不登学术之堂。众所周知，学会的活动对于社会有多么深远的影响。再就美国来说，上一世纪，美国发明的各种机器，从而扩充为规模甚大的企业，威斯汀豪斯发明火车制动机，电控机构最早发现的国家，但电控机构的广泛应用，以及其后的射流技术要推迟到本世纪50年代（射流技术的出现，要等到电子学上应用逻辑回路的广泛应用之后，这也足以说明机构学之不振），司蒂尔凡特创造制鞋机，更重要的是发明真空吸尘器这两大部门在美国都发展成为占世界牛耳的企业，但并未引起美国研究如何明发新机器的疑问——发展机械原理，或者说即使发展亦不甚得力。例如1868年H. T. Brown编写出版了五百零七个机械运动，这是近代美国所谓精巧机构书籍之鼻祖，这些书，可惜从理论上总结提高不多。英国在Willis编著了机械原理之后并无突出著作，而法国、德国运动学之巨著，综合几何之发展，运动几何及综合几何与运动学之结合，其后发展了德国的运动几何与机构几何学派（累罗学派）。

①恩格斯：《自然辩证法》，人民出版社1971年8月第一版225页。

其实英国在机构学方面是最早有研究的国家,如Cayley, Robert, Hart等人,最初应用连杆机构求解椭圆方程^[12]作为计算机构的也是英国,惜乎后来并未连续下去,第二次世界大战中,Grondzinski在英国介绍累罗派的成就并未引起重视,他所著的二本机构学导引仍然转回到德国出版,列入Götschen丛书(中国有印影上册),直至第二次世界大战后美国重视机构学,Grondzinski的著作,方为英国所重视。

四、机构学在先进工业国未能及时兴起的原因

英国在产业革命中,机械、纺织、磨粉等工业带头执机制世界之牛耳,但是,理论研究却未跟上。美国在许多部门因为某种机械的发明成为巨大企业,如胜家缝纫机。有了缝纫机则有成衣业,从而有电剪、电烫斗等发明。有了电冰箱业、汽车业,自动作业线则从此兴起。威司汀豪斯发明了制动机而有威司汀豪斯工厂,铣床的发明而有Cincinnati之机床工业,这可并未能引起美国人的重视,如何能探索出机器创造之原理——机械原理,而相反地Bell发明了电话成立了Bell公司,富兰克林发明了雷电现象其后成立了富兰克林研究所,都结合业务专门从事电学研究,对于电话特别是Bell不仅是电话,对于电学及电子学上的研究均成为世界上最大的研究成果卓著的机构。相反,爱迪生一生的发明中属于机器(刚体机构)及与机构有关的(如电影机、留声机等),很是不少,但也未引起爱迪生研究所专门从事机动力学与机械原理的研究,考其原因,当时在机械工业勃兴之后,各项发明虽多,产业大兴之后,仍然未有大量人员专门从事机械原理的探索。有三种可能因素:

①机构专利(关于专利制度的全面评价,自属另一具体事件。这里只谈专利机构与机构原理发展间的矛盾)的取获;

②纯粹刚体机构、机器发明的限制;

③机械唯物论的批判误解为机械无基本理论可求。

首先我们要说一下专利制度,新机构、新机器的发明如果一旦取得了专利权,则从产品上可抽取产值提成,专利获得者因而可以发家致富,所以从事机动力学、机原有研究的人多从事专利机构的获取,而甚少去钻书本探索机构的构成原理。即便有了心得,亦秘而不宣,视为获取专利的独得之秘。时至今日,气液动连杆机构大量涌现,仍然可以见到这种秘而不宣的现象。相反,在化学上如果要获得一个专利,则至少要说明其机理才可从而产生一种新的产品或企业。而机器或机构则不然,例如一种门锁静定装置,一旦取得专利则可收益无穷,且无需说明其发明思路。因此搞机械原理的探讨费力多而成效少,搞专利成为致富捷径。我们只要翻一翻上世纪与本世纪初之专利机构登记简要表册,就可以概观有关机构、机器专利品种名目之繁多,也不难推想有多少人的精力耗费于此。

第二纯正刚体机构和机械的发明受到一定的限制,例如电影机则是光、机、电三者之结合,留声机则为声机之结合,除尘器为气、机、电三者之结合,就美国而论,它是气动夹具、气动冲孔、气动小吊车的首创或风行之国家,但对发展气动机构的理论著作则不若法国与德国之精辟,此与美国人追求产品、产量、产值方面远较追求理论更感兴趣。

上面多讲的是美国它是近代随英国之后发明新机器最多而且形成巨大企业的一个国家,在追求专利权方面也是一个带头的国家,这种风气也影响到欧洲国家。

机构学的先头学科运动学在法国、德国,机构学在法国与德国,特别是在德国,跃居英国之上则或者是由于德国人好学深思,则不无关系。

第三，机械大兴产业革命发生，资本主义兴起之后，产生过无往而非机械运动的概念，逐渐在哲学上产生过机械唯物论、机械无所不能，无往而非机械亦甚蛊惑人心，其后这种学说受批判，有志之士对机械原理却属于一种自科科学亦不去研究，误解为研究机械理论（技术的非哲学的）亦无有出路。继之电学与其它科学兴起，所谓“带头科学”吸引了有志之士去从事其它学科，给机械学带来一个或多或少地无人问津时期，以致到1923年前后阿特才正式提出“机构综合”问题，复演“平面曲线”，“位置问题”等等细节。直到继苏联前后有三位学者分别合著有两种机构综合⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾，R. Beyer发表了机构运动学综合之后机构综合学（是机构学有关创制新机器最有代表性的一个分支，作创制意念设计的理论）才为世人所重视，美国近年在MIT设置了Burmester理论的自动机构设计原理课程，这一事实才为广大的第三世界国家所接受。

五、机构学特别是机构综合学的两大学派

苏联科学院已故院士阿氏（И. И. Артоболевский）每当开一次机械原理会议无不大声疾呼。机构学在国防、尖端、生产、科技各方面的重要性，并且指出学习、从事机械工程的人虽多，但真实从事机构学钻研的人，这在从事机械工程的人之中占的百分比极小。全世界的国家中，在国家科学院内设有专门从事机构学研究机构——机械原理研究所的，唯有苏联。或者说唯有苏联科学院下设机械原理研究所，并且在机械原理方面的研究成绩卓著，举世闻名。（其出版的不定期报告“习明纳耳”（Семинар по Теории машин и механизмов）对我国学者来说是很熟悉的），对于苏联的机械化、自动化、宇航等方面作的贡献也非常突出。

苏联设有机械原理研究所自有其历史的原因，因为上一世纪，帝俄的科学院出了一个威伯舍夫（Чебышев П. Л.），他是机构学家与数学家，因研究连杆机构综合而著称，是苏联机构研究学派的奠基人，在他死后，他的门徒继承其事业，故苏联科学院有机构研究所。此外，民主德国Lichtenfeld为东德科学院的科学院士，他以研究直移机构与简化环点曲线（Kreispunktkurve）及轴点曲线（Angepunkt Kurve）引用于工程方法而著称。但民主德国科学院无机构研究所；这方面的研究以各大学机械原理教研组为研究中心，学会也有机构学分会，与企业界联系密切，成果颇多。西德也是以各大学机构教研组为研究中心或与企业界合研究与企业界联系很密切，成果卓著。按水平来说，理论水平与解决实际问题的做法，西德均为世界首位，不但学术界，即产业界许多工程师也能解决一般的机构综合问题，换言之西德与东德对于机构学（累罗学派的发源地）、机构综合学的普及工作较好，一般机械专业学生都学习机构学（成为必修课），对于传授理论、教学、实验、解题（往往是工企业界的实际问题）都有丰富的经验，故而新机构与机器层出不穷。从苏联出版物来看其研究方式颇多经院式的学究气，但苏联科学院机械原理研究部门对解决尖端科学问题，如原子能工业用机械手、宇航用特殊机构颇为解决问题，明显的例子，阿杜波列夫斯基院士在苏联人造卫星上天之后授勋（为三个因宇航成功而颁发勋章给与三个院士中的一个，另一为勃拉冈拉瓦夫、和一个为宇航大夫）。至于苏联究竟如何理论应用于实例，在苏联典籍中，从无举例。

我们知道在苏联是十分重视学衔的。阿氏以机构学而荣获院士衔，已是举世无双，以院士而又荣获受勋，并且以宇航建功而受勋，那么阿氏究竟因什么而荣誉若此，这是苏联的保密不可而知，苏联在机构学上如何将理论联系实际，在书籍中从不举实例，但可以推断，靠

联的机构研究所与威伯舍夫学派的研究成果,对于它的科学事业起到很大的作用。不言而喻,
(一) 苏联重视机构学 (二) 阿氏以机构学上的成果而有功于宇航, 这足以证明苏联的机构学研究较有基础。

六、机构学从数学、力学中分离成独立学科

在产业革命以前, 机械参与大量生产以前, 数学家早就研究运动件 (杆) 在位移时的情况和运动件上的点所经行的轨迹。著名的有伯努利 (Belouli) 的两瓣梅花叶, 卡当的卡当运动, Robert 的近似直移机构以及他发现的连杆曲线三重生产法的机构、包赛利反演机构、哈特直移机构、威伯舍夫的四连杆机构基本的探讨以及其描绘的对称连杆曲线。威氏在研究机构的同时在数学上有威氏多项式, 这是在机构综合插入点 (精确点) 选择上经常要应用到的有力数学工具。威氏并且是似近计算方法的奠基者, 他是数学家兼机构学家, 威氏并制作了许多机构模型, 著名的有步行机构等。

从最新的文献看来, 等效机构的研究, 仍脱离不了 Robert 的基本概念。反演 (Inversion) 与变换 (Transformation) 概念仍然是现代机构学⁽¹⁶⁾⁽¹⁵⁾⁽¹⁸⁾ 需要深入探索的理论课题。这个课题也已经冷落了数十年, 甚至上百年。这种老问题翻新, 正如机构学老学科需有新的内容一样。由于其他学科与生产事业的进展不得不加快步伐, 如仿生学进展要求机构学的协助, 研究动物的运动机理, 假肢学的进展, 特别要求解决断腿的假肢机构, 海洋开发要求深水机械蛙入, 宇航开发要求空间机械人等等, 这比二十年前所要求的项目更具体, 指标更明确, 难度更高。

机构学有自己的机构运动学概念, 决不是单纯的数学与力学。数学与力学为研究机构学、特别是机构综合学的有力工具, 却不是机构学或机构运动综合学的本身!

机构学已如前所述, 科学性和完整性很不够。但对局部问题的研究其深入的程度, 还是逻辑性很强, 立论严整的。这方面的代表著作有苏联的新老三氏机构综合, R. Beyer 的机构分析及综合和动力学⁽¹⁸⁾⁽²⁰⁾⁽²¹⁾, 空间工程运动学⁽²²⁾ (1931年尚有工程运动学⁽²³⁾), P. Lohse 的机构综合, R. Krous 的机构学 (三巨册), Meyer Zur Capellen 著作等等, 可以说他著作之丰富连总结的时间都没有了, Meyer Zur Capellen 运用富氏级数法来分析与综合机构, 至今仍为世界上唯一的牛耳, Геноинтис 著几何工具 (机械出版社), 也是唯一的有力的研究几何学派数学工具书。苏联学派, 除两本三氏 (老与新) 外, 首推 Черудинов 著平面连杆机构。杜勃洛包夫斯基和阿氏分别均有专著, 叙述复演平面曲线问题。G. R. Veldkamp⁽¹⁷⁾ 著有轨迹曲率的专论 (荷兰), Dijkstra (荷兰) 著有运动几何学⁽¹⁸⁾, 这些都是当代的经典之著, 从这些经典著作中, 能看到当代大师都不再企图找出机构创造的某些总规律 (象化学中能找出元素总数、周期表), 或者说用有限的机构元件组合新机器的总规律, 而是脚踏实地一点一滴地在有限范围专谈某一问题, 并企图解决之。也就是把讨论的问题缩小, 问题研究得深透。K. H. Hunt 在 1976 年机原杂志上大声疾呼要深入研究几何, 他认为几何学是研究运动学运动之关键。同时美国强调运用计算机综合机构。从我国现况来说, 问题不在于追随那一个学派, 大力提倡什么方法, 研究什么方法好的问题, 而是迫切多联系实际, 训练一批有解决现场问题能力的学者, 这比强调发展什么学派会更好。因为这里存在着争论, 而这种争论对于早日实现四个现代化并不迫切, 迫切的是就已掌握的理论, 解决能够解决、应该

解决的问题，难度不在乎大小，难度小的问题也可能有很大的经济生产价值。运用简单的原理也可以解决高精尖问题。从现有的例子来看，长春机车厂范朝来工程师，仅运用两对应角移量问题，两位置问题，相对运动相位配合，用撞块作为高付（实现停点机构），用限位开关控制油缸活塞的运动，这些最习见的方法创造出多工序衔接、自动化程度很高的自动机。这很能说明，运用现有的简单综合理论，也能创制出高水平的自动机来。

七、机构与其它学科的关系

前面已经提到单纯利用刚体机构从事创制新机构与机器有一定局限性。

例如Wankel发明了旋转活塞式发动机，在机构上与内燃机的热力学循环上均已过关，但在实用投产上，遇到密封的磨损问题，这就需靠机械零件及材料学去解决。又如内燃水泵，这种构思已经证实其为可行，因为毕竟经过发动，但因发动不稳定而未能付诸实用（或者有人说内燃水泵之成不成无关宏旨，水泵中不一定需有“多出此类型”）。我感到怅然，因为一种新事物的出现，其应用范围有时会超出当时发明动机之外（前已举出吹风机），所以我们可以认为如果如内燃水泵发明成功，其效用可能超出单纯为提水之外。目前内燃水泵研制在国内外均告停顿。我想，如果在我国研制彻底成功，在国际上也属首创。内燃水泵之研制要靠水力学，机构学作良好之配合，需与其它学科相结合。即使我们推广狭义的机构综合至广义机构综合（电、空、液、刚——混合机构）仍然需要与其它学科相结合才有生命力，当然在学习过程中从事机构学的人，仍然需要从刚体机构为主去深入探讨发展新机构，配合其它学科的需要，加强它的作用与重要性。否则我们便会在结合过程中，丢弃机构学而从事结合的学科。当然，这固然很好，但那就超出机构学讨论的范围，成为另一学科的事了。

目前，其它学科或本学科迫切与另外学科相结合的有仿生机械学、医疗机械学等等，光机是很早结合的，再早尚有电、机或机、电，在今天来说，机、电是不可分隔，结下了不解之缘。这说明单纯的机构（刚体）有其局限性。

目前边缘学科盛行，随着科学、技术、工业、文化之发展，机构学日益与其它学科杂交之机会亦多。

首先不能不谈自动化、自动化的许多概念，如程控、随机、反馈等概念，这本来在机构学中是没有的，或不甚明确的，现在则在机构学中应广泛地应用。不但有这些概念，而且自动化中凡是有机械运动（或位移运动的要求者），则必须有机械参与，否则自动化中无“动”可言。现在对机构创制意念设计的要求，不仅是手工操作机械化，而是要自动化、联动化，过去提机构综合不仅要完成自动化中的执行机构，还要作为计算机构及控制机构，甚至兼有控制、计算、执行效用的机构，这在当时几乎认为是笑谈。现在干脆要求有“机械自动化”

(Mechanical Automation) 的一系列各式各样的机构与机器，即使这样的提法，今日也习见为常，并不再感到夸张了。

八、国内沿革纲要

国内机构学从冯雄译《机构学》(商务)及其后刘耀华即刘仙洲先生的《机构学》译述(学艺丛书),此为第一批机构学译述(继清江甯制造局之后)。以后,刘仙洲先生又有《机械原理》一书问世。刘仙洲先生于1935年前后出版了此书,这本书以美国三氏机原为蓝本,并参考了当时美国最流行的一些教材,费了几年时间,由曹国惠协助编著,此书在我国1935年直到1955年前后止,风行达二十年之久,为当时绝大多数学校的机械系所采用。这是中国机械原理课程(大学)之始,在1935年的几乎同时,在柏林大学聘请德国机动学家R. Kraus来华讲学,他在讲学期间发表了不少震动世界机动学论坛的著作、论文,其中例如[29][30]。其后去印度加尔各答大学任教,这是我国接触德国莱普学派的学术之始。R. Kraus的助教陈景贤也发表了有关机构学[31]的论著,接踵而至的有李学荣的论著[32],这两篇论著都是轮系尺度综合方面的。其后,接触到威伯鲁夫学派的学术,首先是解放后以翻译苏联阿氏机原而引起当时教育界的重视,感到这方面差距很大。之后,国家规划列入重点学科规划,第一次起草人为北京工业学院陈肖南,他在美国普渡大学随Hall A. S.学机原、规划系偏重滚动机构,后由本人编写背景资料。机构学后又列入国家补充规划中之重点规划,本人亦执笔编了背景资料,1979年又在长春开了规划落实会议,从国家科委来讲,是很重视此学科的,列为国家重点第98项。可惜的是机械研究所反而有到无。这中间并曾请季诺律也夫专家来清华讲学。干东英(光机所)、唐锡宽(清华)、张启先(北航)赴苏,曹龙华(西安交大)赴德(Dresden)都是按国家重点规划派遣学成归国,现从事这方面工作的第一批从事机构工作的学人。在教材方面有黄锡恺先生的教本和西北工大的教本,这是继刘先生之后风行一时的教材,在学术讨论方面浙江大学机原组做了不少参考资料,专著方面有:曹继贤、黄锡恺、范广洲、曹维庆、曹存昌、颜志仁、王楠、蒋声、叶诚、张世民、汪扑澄、李国端、李学荣、徐振华、刘行远等均发表了有影响的论文,在述评方面除本人的背景资料(内容未公开)面外,来虔教授,上海机械学院殷洪梁先生等(于1978年夏天天津会议)均作了较系统的评价,1978年夏上海机械学院主编的《机构学基本情况》是我国第一次作为一个出版任务而较广泛地征求意见、系统地评价的文件。关于机构综合方面有关的参考教材有天津大学的《连杆机构讲义》。北方交大陆传砚作了电子计算解函数机构与描绘四杆机构的连杆曲线工作,上海研制的一套或少齿差减速器,上海粮食业的堆垛机等。这里不允许作挂一漏万的叙述,因为了解的情况太少,很不全面,在军工方面和专业产品方面由于内部资料也不能列举。总的来说从规划到现在已从理论走向实际,机原联系实际,也是最不容易的工作。年近八十的曹继贤老教授认为我国的机构学,今后的努力方向“应广泛、深入、细致地追求实用。既非抽象空洞,又非单纯实用而止”。按照范广洲教授的说法,①机原联系实际是极端不易的。②单纯利用刚体机构综合从描作出产品也是局限性颇大的。弹联合气、液、电,但难度仍然在刚体机构综合。范广洲教授正研究机器人。另外新疆王楠同志研究了行走机构,在专著方面,目前北京洪元楣同志正在把间隙机构的型综合作科学化的系统论述,本人拙著第三册《液气动连杆机构的设计》。从这次会中了解到上海在机构方面的研究,许多同志有不少的研究,由于了解得不够仔细,不能在此列举。这里补充说明,于1937年前后,上海大隆机器厂的工程师王泽隆编辑有工具机学(此书是根据Hülle的工

具机学编译的),这是我国在有关机械原理书中首次出现机床的许多机构系统简图(schema)之始,在上海仍然要提到R.Kraus在华讲学期间除出版了许多机构学的专门论文单行本(这些论文至今仍常在许多国家为许多专家所引用),机动学的研究有机动学实验馆在上海亦为中国之始。解放后,国家机械工业从无到有,机构学受到重视,历次规划(国家科学规划)均列入重点项目,留学生归国任教。国人自己创制的机构、机器层出不穷,如插秧机,轻小电影机等不胜枚举。有意识地利用机构综合理论创制的机构有陈明哲研制的无级变速脉动减速器、范朝来研制的自动烟管胀缩机(由七个四连杆机构组合而成),这就是说,机械原理从理论到应用,而尤难在于应用(范朝来教授语甚,已开花结果。今后方兴未艾,发扬光大,有赖在座诸公。

我国在机构学各个领域几乎都有人正在埋头钻研,惜乎关于分析法的系统之作,无限接近位移理论,还未有专著;空间机构还未闻有实用示例,平面机构有也不多,群众的发明创造有实物无总结,更无理论式的总结(如插秧机),希望能在高校系统,广泛收集群众的发明创造,提炼到抽象的理论高度去改进,使其益臻完善。

目前的主要问题,机构学的研究无归口、带头、领导单位,文献资料,情报未作系统地收集,机构学实验室还未在工业大学中普遍有成效地建立和使用,实验研究多属纸上谈兵。故需大力加强产业界与学术界的有机合作,产业界工程师和研究人员需要训练到能将现场中的机原问题抽取出机原问题模型,大学教师能就现场问题找出机原性质的问题而加以解决,或理论上的分析,这样,此学的大兴,指日可待。

目前国外已达到的水平是平面机构尺度综合有一定的而非全面的指导作用,空间机构尺度综合除极简单的而外,尚未达到能解决实际问题的阶段(空间机构的创始意念的设计多半仍靠试凑法来解决),机构结构公式漏洞百出,型综合的方法还未理出逻辑性索引。但另一方面平面连杆机构与平面组合机构在某些方面已作出大量图表(仅公开了极少部分)和综合设计计算方法,这些可参见近年的有关机械原理杂志和著作中及其引证文献,在70~76年间较新的发展可参阅上海机械学院主编的机构分册。由此可见,国外确实比我们早走了若干步,但从机构学的完整性很差,科学性的幼稚来看,生长点处处皆是,我们与国际上的理论差距只能说是五十步与一百步,要迎头赶上,并非难事。我们要有自己的体系,从实际出发,从简、急工作入手,如(1)编制对称连杆曲线图谱,(2)编制尺寸差距大的连杆机构图谱,(3)编制输入、输出函数关系图表,(4)编制二自由度输入、输出函数关系图表等等。

这样一步一个脚印,并不以为事属简陋而不屑为,并不以为对实际工作贡献太小而不屑为,这样由浅入深,由简到繁,从解决实际问题中提高我们的理论水平,提炼出抽象的运动学、数学、力学、机构学模型来深入探讨,我想不出十年,我国机构领域中不但打开局面,一定也能建立起有特色的学派,一定能为实现四个现代化作出应有的贡献!

结 论

机构学的重要性,在国民经济上所起的作用、在军事上的作用以及在经济、科学、技术、生产、探测等各方面的作用,特别是对政治上的影响至为重要。

按已有的机构学丰硕成果,成绩固属昭著,但按各方面的要求来说,跟不上时代要求。

特别是机构学本身的科学性与完整性仍处于开发阶段。

正是由于机构学处于开发阶段，生长点触处皆是，国外虽已有相当的研究历史，但与学科的要求与应用有进度，甚不成比例。故国内虽属落后，赶上并非不可能，也并非十分为难之事。主要问题在有固定机构主其事，固定刊物论其学，吸引有志人士终身专攻斯学。

参 考 文 献

- [1] R. Beyer, Technische Kinematik 1930
- [2] Meyer Zur Capellen, Mathematische Instrumente, Leipzig Akademische Verlag 1944 以上二书由美国 Edwards Brothers Ann. Arbor michigan 1948 影印
- [3] A.E.R. de Jonge Kinematic synthesis of mechanisms 《Mechanical Engineering》 July 1940 p.537~542
- [4] De Jonge A.E.R., What is wrong with "Kinematics" and "Mechanisms" 《Mechanical Engineering》 V.64 1942 № 4 p.273
- [5] M. Rosenauer, Eine kurze übersicht über die russische Literatur in der Getriebechnik 《Konstruktion》 1957 p.359
- [6] De Jonge A.E.R., A Brief Account of modern kinematics 《Transactions of ASME》 V.65 1943 № 6 p.663
- [7] De Jonge A.E.R., Are the Russians ahead in mechanisms analysis 《Machine Design》 V.23 1951 № 9 p.127
- [8] D.C.Tao, Applied Linkage Synthesis. Addison-wesley 1964
- [9] R.Beyer, The Kinematic synthesis of mechanisms McGRAW Hill 1963
- [10] A.Svoboda, Computing Mechanisms and linkages 1948
- [11] 教育过程 上海人民出版社 1973
- [12] A.Emch, Illustration of the Elliptic Integral of the First Kind by a Certain Link-work Annals of mathematics series 2.1.81 (1899—1900)
- [13] И.И.Артоболевский, З.Ш.Блох, В.В.Добровольский, Синтез механизмов
- [14] И.И.阿尔托包列夫斯基等著, 平面机构综合 1959年原俄文出版 高教社1965第一版下册
- [15] Л.Д.Рузинов, Проектирование и расчет механизмов на основе геометрических преобразований 1964 此书英译本为Ruzinov, L.D, Design of mechanisms by geometrie transtormation 1968 Iliffe London
- [16] Dijksman, E.A: A strong relationship between New ang old invention mechanisms trans. ASME 1971 p.334
- [17] Veldkamp G.R., Curvature theory in plane kinematic 1963
- [18] Dijksman, E.A., Motion Geometry of Mechanisms 1976 Cambrige univ, press
- [19] R.Beyer, Kinematisch-getriebeanalytisches praktikum 1958
- [20] R.Beyer, Kinematisch-getriebsynthese 1953

- [21] R.Beyer, Kinematisch-getriebedynamisches praktikum 1960
- [22] R.Beyer, Technische Raumkinematik 1963
- [23] R.Beyer, Technische Kinematik Leipzig 1931
- [24] R.Kraus, Getrieblehre Bd.1
- [25] R.Kraus, Getriebeaufbau
- [26] R.Kraus, Getriebelehre Bd.3 Meß bestimmung
- [27] Veldkamp G.R., Curvature theory in plane kinematics 1963
- [28] 李学荣: 低付平面机构与自动控制 1956 铁道学术论文第一次会议, 铁研单行本
- [29] R.Kraus, Winkel-, Koppellagen- und punktlagenzuordnungen Gelenkviereck 上海吴淞同济大学研究报告 Bd. II 1935
- [30] R.Kraus, Schwingende und umlaufende Rastgetriebe 上海吴淞国立同济大学研究报告 1937 Bd. III H.2
- [31] 张景贤: Verallgemeinerung der einfachen rückkehrenden stirnradumlaufgetriebe Acad Sinica Sscience Record 1949
- [32] 李学荣: 齿轮滚床机构与变换齿轮常数 机械制造 1951
- [33] H.Alt, Zur synthese der ebenen mechanismen ZAMM 1921
- [34] 黄锡恺: 风板机行星减速器的运动设计 南工学报 1979年第1期
- [35] 曹继贤: 几种分析机构的运动机构 中国科技大学学报 复刊创刊号
- [36] 曹继贤: 平面及空间低付四杆机构的类型综合 中国科技大学学报
- [37] 来虔: 机构学国内文献索引 西安交大油印本
- [38] 张世民: 机构加速度纯图解法 机械工程学报
- [39] 曹存昌: 椭圆齿轮的展成方法 机械工程学报
- [40] 曹惟庆: 两自由度函数综合仪的类型综合
- [41] 汪扑澄: 机构学论文集 甘肃大学油印本 (第一次传动业会分发)
- [42] 王瀚: 步行机构及其应用 1968年 北农机油印
- [43] 王瀚: 虫雷 (步行机构在军工中的应用)
- [44] 范朝来: 烟管伸缩机 长春机车厂 1979
- [45] 叶诚: 平面机构相对瞬心加速度的直接解 1964.11浙大
- [46] 殷鸿梁: 机构学的任务及其展望 1978.6 上海机械学院 油印
- [47] 洪允楣: 给定位移函数作图求解双曲柄机构 1979.油印
- [48] 蒋声: 有关车多边形夹具的数学问题《数学的实践与认识》1973年第四期
- [49] 陆传砚: DJS-121计算机在机械原理中的初步应用 北方交大 1979年5月油印
- [50] 颜志仁: 连杆机构最优设计问题 上海交通大学 1978年6月
- [51] 张启先: 空间机构运动的同一性条件及其在简化位移分析中的应用 北航油印本1979
- [52] 周仁: 关于多种机构构造公式的研究报告及述评。 上海交大
- [53] 陈立周: 关于机构最优化的研究报告。 北航
- [54] 曹继贤: 绘机构运动曲线的机构 中国科技大学学报三卷一期1973年7月
- [55] 李华敏: 关于啮合理论的研究 哈工大
- [56] 陈志新: 共轭曲面理论 上海工业大学