

内 容 简 介

1978年12月14—22日在成都举行了核反应堆结构力学会议。会议共收到报告84篇。本汇编选登了70篇,其中32篇刊登全文,38篇刊登摘要。内容包括:反应堆钢质压力容器和预应力混凝土压力容器、压力容器部件、堆芯结构和燃料元件的应力分析及试验;反应堆结构部件的振动、冲击分析及试验;反应堆结构和设备的抗地震分析;实验应力分析技术及有关设备的研制,等等。

本汇编可供从事核反应堆结构设计和应力分析工作的工程技术人员阅读,亦可供大专院校有关专业师生参考。

核反应堆结构中的力学问题

(1978年核反应堆结构力学会议资料汇编)

原子能出版社出版

(北京2108信箱)

原子能出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

(限国内发行)

☆

开本787×1092¹/₁₆·印张26¹/₄·字数450千字

1980年9月第一版·1980年9月第一次印刷

印数001—1250·统一书号:15175·216

定价:3.70元

目 录

清华大学副校长张维教授的讲话·····	(1)
大连工学院副院长钱令希教授的讲话·····	(10)
西南交通大学孙训方教授的报告: 断裂力学的发展概况·····	(15)
天津大学贾有权教授的讲话·····	(22)
三维有限元法计算压力容器接管段在内压作用下的应力分布	
·····徐定耿 刘光龙	(27)
压力壳及其封头的应力计算·····洪善桃 顾绍德 陈学潮	(40)
在非轴对称荷载作用下轴对称体和壳的应力分析·····	
·····国家建委建筑科学研究院建筑结构研究所	(54)
实验堆压力壳筒体过渡段应力分析·····肖明智 黄孝生	(72)
反应堆压力壳保温层热应力分析·····姚伟达	(85)
反应堆压力容器在静水压力作用下的应力分析与试验研究	
·····曾凡茂 胡志成	(93)
反应堆压力容器模型的接管外载荷试验·····程中易 胡志成	(103)
压力壳三向光弹性实验应力分析·····顾绍德 张林春 洪善桃	(111)
反应堆压力容器球顶盖光弹性应力分析·····王平章 严承葛 章朝晖	(122)
预应力混凝土压力容器 1/10 模型的设计与试验研究	
·····王传志 李金才 汪泰钧 顾树华	(129)
1/100预应力混凝土压力壳模型光弹应力分析·····田 泽 郑润生	(146)
管壳式换热器管板强度分析·····黄克智 薛明德 李世玉	(158)
压水堆下栅格板组件的有限单元法分析·····徐 明	(183)
轴对称条件下耦合圆板分析·····张成章	(193)
用有限元的子结构法分析堆芯支撑结构·····蒋思杰	(202)
最小二乘配边与最小二乘配置有限元·····谷芳毓	(212)
反应堆加筋双层管板结构分析·····王允昌 黄震光 经树栋	(227)
群孔多柱圆板的计算·····沈其除	(241)
反应堆吊兰、热屏结构在水中固有频率的计算·····姚伟达 张慧娟	(252)
高温气冷堆石墨构件的应力分析·····高祖瑛 朱乃励 马远乐	(263)
锆-4元件包壳闭端爆破试验·····闻明娟 李均调	(275)
反应堆元件管端塞应力分析·····朱舜华 唐仲华 张忠岳	(288)
格架弹簧片刚度、应力计算·····王柏松	(296)
反应堆主回路系统抗地震分析·····洪景丰 胡永陶 符世祥 邓秀萍	(305)
响应谱法在反应堆抗震设计中的应用·····陈佩英 孟昭利	(319)
多自由度系统固有频率简便计算公式·····任常平	(332)

管道设备系统的机械振动·····	徐植信 沈小白 高文道 李恒增 于春生 赵桐祥 (335)
燃料组件水流振动试验研究·····	韩良弼 施国麟 王玉芬 姚伟达 徐定耿 程曙霞 何玉枝 (349)
热交换器管子振动实测·····	俞锡璋 崔成龙 张绪新 (362)
反应堆控制棒驱动机构冲击试验研究·····	杨仁安 郭建虎 (368)
光贴片法及其在弯曲多孔板上的应用·····	严承葛 王平章 赵玉茹 章朝晖 (377)
高温防水应变片的研制·····	何承义 郭 恂 (387)

摘 要 部 分

内压作用下正交圆筒的应力分析·····	翁智远 陈学潮 江乃雄 (398)
轴对称凸凹形压力容器的应力计算·····	洪善桃 陈学潮 顾绍德 (398)
压力容器三心封头的应力分析·····	王柏松 (399)
用截锥单元分析承受轴对称载荷的旋转壳·····	谷芳毓 (399)
压力容器接管轴对称有限元分析·····	曾凡茂 (400)
组合壳体的应力计算·····	陈学潮 刘永仁 (400)
关于 ASME 规范中螺栓连接球形封头计算公式的 讨 论·····	张敬才 (400)
圆柱壳开孔补强的应力分析和试验研究·····	翁智远 陈学潮 顾绍德 (401)
反应堆压力壳光弹性和电测应力分析·····	陈仁谔 王佩珠 (401)
冷弯不锈钢-碳钢复层钢管的试验与 分 析·····	胡耿兰 (402)
压力壳光弹性模型试验·····	顾绍德 张林春 洪善桃 (402)
反应堆承压壳体的断裂和疲劳破坏试验·····	李士杰 肖明智 黄孝生 (403)
国外预应力混凝土反应堆压力容器发展概况·····	王传志 汪泰钧 顾树华 熊敦士 秦振亚 何树延 (403)
配置大吨位预应力束结构端部锚固区的建议·····	建委建研院结构所 清华大学 (403)
大吨位预应力束锚固区混凝土局部承压研究·····	建委建研院结构所 清华大学 (404)
YL-500 型千斤顶研制·····	建委建研院结构所 清华大学 大连西岗拉伸机厂 (404)
144 ϕ 6 高强 钢丝束墩头锚固的试验研究·····	建委建研院结构所 清华大学 (405)
空间板架系统迭代程序 KBD-108A·····	徐 明 (405)
反应堆多孔底板挠度分析·····	赵嘉瑞 (405)
带正交肋的圆形孔板试验·····	谢逸霖 张学佐 (406)
有限元法分块解的通用作过程·····	蒋思杰 (406)
反应堆承重栅板试验·····	张重珠 张忠岳 谢秉康 胡耿兰 (407)
反应堆吊兰下栅格板组件的刚度、强度分析及塑料模型试验·····	姚伟达 叶维娟 彭勇勇 王顺康 赵玉华

.....	张立英 蒋思杰 徐 明	(407)
石墨元件的温度 应 力.....	洪善桃 张林春	(408)
带肋复合管式燃料元件温度和应力 计 算.....	张成章	(408)
燃料元件整体分析的若干 问 题.....	张忠岳	(409)
计算元件端塞温度场及应力场的有限元法轴对称 程 序.....	唐仲华	(409)
反应堆铀块温度场及热应力 计 算.....	张重珠	(410)
燃料组件强度试验.....		
.....	施国麟 王玉芬 姚伟达 徐定耿 蔡银根 马伯根 郑方有	(410)
日本核电站抗震 设 计.....	孟昭利 陈佩英	(411)
关于平行流引起燃料组件振动的研究 现 状.....	韩良弼	(411)
随机振动数据处理 Fortran 程 序 介 绍.....	赵守钧	(411)
堆舱模型冲击载荷试验.....		
.....	崔成龙 王俊宽 钱亚大 杨仁安 郭建虎	(412)
船用反应堆支撑屏蔽结构抗冲击 分 析.....	王俊宽 杨仁安	(412)
燃料元件振动试验分析.....		
.....	施国麟 韩良弼 姚伟达 徐定耿 王玉芬 唐仲华 程曙霞	(412)
燃料元件棒在平行水流作用下的振动试验研究.....		
.....	胡远坤 俞锡璋 孙惠通 郑伦理	(413)
压水堆主系统模型自振频率测量及机械振动响应试算.....		
.....	沈小白 沈宏甫 徐植信 高文道 李恒增 于春生 赵桐祥	(413)
核动力装置振动与噪音 实 测.....	张绪新 余儒宏 孙德祥 何先兴	(414)

清华大学副校长张维教授的讲话

1978年12月17日

参加这次会议，感到出现了一个可喜的现象，就是反应堆结构力学的队伍已经具有了相当的规模，而且主要是由中年同志在工作，也就是说我们已经有了相当数量的骨干。感到有一点不足的就是青年比较少。要尽快实现四个现代化，在反应堆结构力学方面以至整个反应堆技术方面赶上世界先进水平，不仅急需中年人，而且要更大量的青年人。技术干部队伍这个问题很关键。今天我就结合这个问题谈点自己的想法和有关情况。

今天在座的同志，除我们几个老头外，基本上都是解放后十七年中培养出来的，可以说都是又红又专的。但是，数量还远远不够。不仅反应堆结构力学是如此，其他方面也都感到骨干不够。文化大革命前，平均每年培养出二十万大学生，文化大革命十年，少培养了二百万到三百万大学毕业生。如果理工农医科占百分之六十的话，就少培养了一百二十万到一百八十万技术干部。这个数量是很大的。这笔帐应该算在“四人帮”身上。

我们现在的技术干部数量同美国相比差得很远。美国有个国家科学基金会，前两年的一个报告里谈到，它有一个物理科学、数学和工程部，主要是审查高等学校申请这几方面的科学研究的课题的，给以经济上的支持。那一年有四千多份研究报告，涉及到四千多个高等学校的教师和六千多个研究生的研究项目，一共动员了一万四千多名专家来审查这一万人的工作。这一点使我们非常吃惊。我们的高等学校里的科研计划，哪有什么审查！教研室提出来以后，系里一般就通过了，学校更是一个大口袋，把所有的研究项目往这个口袋里一装，就是整个学校的科学研究计划。大体上就是这么一个状况。而人家呢？审查的人超过了参加工作的人。这一点说明他们对待科学研究的严肃性，也反映了他们的科技队伍的庞大。我们这次会议上的报告在拿出来之前，要在国内找人审查，恐怕是件很困难的事情。对比之下，我们的科技队伍不仅在数量上，而且在质量上跟人家有很大的差距。

实现四个现代化，科技队伍的培养是个关键。斯大林同志说过，政策决定以后，干部就是决定性的因素。第二次世界大战快要结束的时候，无论是美国还是苏联，对于德国的科技人员抢得很厉害。最近我看了关于海森堡的传记，他当时对于反应堆的态度是，一方面不愿把它搞出来，因为一搞出来，就等于给希特勒纳粹提供了武器；另一方面又不愿搞不出来，丢德国科学家的脸。所以他在那里“磨蹭”。美国知道这个情况，因此空降部队到他研究那个地方去抓他的时间，比坦克部队还早，唯恐他在坦克部队到达以前跑掉。还有后来成为美国航空和航天局局长的冯·布朗，也是美国空降部队去抓了就走，他们唯恐去晚了，被苏联抢走。说明这些国家对科技人员的重要性是非常清楚的。在我们这儿，对于培养人材的问题，恐怕还要大声疾呼，要更加重视技术队伍的成长问题。有了人才能干工作、出成果；没有人，一切都是空的。各级领导对于这个问题应该特别重视。贾有权同志讲到了科技人员时间的浪费问题，确实是这样。光有了人还不行，还得要把人的作用发挥出来，劲儿使在刀刃上。用非所学，浪费青春，使我们已经很紧张的人力降低了效率。

下面结合反应堆结构力学队伍的培养问题谈一点看法和情况。

首先谈一谈怎样认识力学、认识整个技术科学的问题。大家知道，力学是一门很古老的科学，经典力学在牛顿那个时候就建立了，在过去二、三百年中，一直算是物理的一个部分。现在还可以看到有些物理大师写的物理教程，其中总还有一部分专门讲力学，如马格斯·弗朗克、阿·邹莫费尔德等各自写的《理论物理》。但在十九世纪末、二十世纪初，工业大大向前发展以后，经典力学不能解决生产中提出的许多问题，力学才逐渐出现了突破，形成了近代力学。最著名的如流体力学中的理想流体不能解决生产中的实际问题时，二十世纪初出现了边界层理论。第一次世界大战，飞机的应用促进了流体和固体力学的发展。第二次世界大战以后，发展更快。现在，断裂力学要结合物质的微观结构来研究，又使力学与物理学接近了。不管怎么说，力学已经是一门自成体系的学科。我同意这样一种观点：力学所研究的对象主要是生产（广义的“生产”，其中也包括自然界中的一些现象）中提出的问题，反过来也指导和改进生产。所以，力学既有认识世界的一方面，又有改造世界的一方面。这跟自然科学中的一些学科有所区别。自然科学，如物理、化学，主要是从自然现象中找规律，也就是说，其中主要任务是认识世界，而不能要求它解决实际问题。当然这种说法也不是绝对的，但基本上是否可以这样说。反应堆结构力学，它的任务更加明确，对象更加明确，它具有应用力学或工程力学的性质。从国际会议看，反应堆结构力学也包括了流体、传热、燃烧。从整个技术科学来看，类似力学的学科也不少；如电子学、热物理、材料科学，这些学科都带有认识世界、改造世界的任务，而不是单纯地去找它的规律或单纯地去制造某一装置。所以，总的来说，力学属于技术科学，既区别于自然科学，也区别于工程技术，这种情况同半个世纪以前不一样。

所以讲这么一段，是因为大家对技术科学包括力学的认识不完全一致，对于技术科学的重要性，技术科学对加速实现四个现代化方面的作用重视不够。前一个时期，为了纠正“四人帮”对理论研究的诬蔑，报刊上强调了基础研究的重要性，大家对它的认识提高了。但对于技术科学的性质、重要性和作用谈得不够，所以我们有必要讲一讲。

从国际上也可以看到一些经验教训，举两对例子：一对是英国和美国。英国在自然科学方面一贯有很大的贡献，出了很多有名的科学家；美国在第二次世界大战以前，自然科学方面没有出现很多科学家。一直到今天，英国的自然科学还是很强的，但是工业就不能同美国相比。当然，美国也有它的特定条件，它的资源非常丰富，而英国不行。其中一个很重要的因素，就是技术科学，包括力学，在美国是大力发展的，而在英国没有得到重视。英国从它的学校制度来看，培养工程技术人员很长时间还是学徒制，不重视在学校中培养人。在那里，有地位的是学会，如果能当上英国土木工程师学会的会员，比得个博士在社会上更得到重视。当然这也有好处，培养工程师要有实践，但系统的理论训练不够。还有一对就是法国和西德：西德是两次世界大战的战败国，但是两次都恢复得比较快，其中一个很重要的原因也是技术科学在西德比在法国得到更多的重视。在学制上，西德有专门的工业大学，而法国则着重培养工程师，在技术科学方面是很差的。并不是说它的水平差，而是说在人数、重视程度方面不够。英国在二次世界大战以后，一个是到西德去考察，一个是到美国去考察。记得在五十年代初期，英国写过它和西德在培养工程技术人员方面的比较，承认它的工程教育不如西德的高等工业大学，在英国基本没有这种学校，都是在综合性大学中设立工学院。

* 指美国马萨诸塞州理工学院，旧译麻省理工学院。——编者注

同时，它也在美国看到了马州理工学院* 的例子，马州理工学院是专门的理工学院，考察回来以后建议在英国也设立十几个类似的学校，但是得不到支持，最后也就不了了之，可能建立了一所。这两对例子很值得我们好好分析。今天看得很清楚，英国的工业不能与美国相比，同西德也比不了。法国竞争不过西德，最关键的也是技术不好，技术科学的水平从根本上影响了它的产品的设计。方毅同志曾经讲过，他坐的是“奔驰”车，平时坐在里面一点声音都听不到，有一天忽然听到声音，问司机这是为什么？司机告诉他，说是换了润滑油，换了我们自己的润滑油，于是车开起来就有声音。这样一个小小的润滑油问题，如果不从润滑油的理论去研究，产品当然就上不去。从国内外的经验看，技术科学上去了，生产就发展，反过来也就有经济力量去搞自然科学。不然的话，哪有力量去搞？日本直到现在，在自然科学方面还不能说处于领先地位，但它的经济发展上去了，技术科学抓得很好，所以它也就有力量去发展自然科学。自然科学就像重工业的投资似的，不能立即见效，但又非常重要，花很大的人力、很大的投资才能搞得起来。如何使四个现代化更早实现，要总结国内外的经验。

下面谈谈技术科学干部的培养问题。从现在队伍的状况看，有一个学得太窄、学得太死的问题存在。一个专业就学这个专业很窄的一部分。文化大革命这十来年，这种趋势有增无减。有的工业部门提出来就是要围绕它的产品来搞教学，在开全国科学大会时，听五机部的一个工业学院的同志讲，他们部里就叫他们培养设计坦克的人。一个坦克的设计是非常复杂的，怎么能够在专业里培养？专业变成产品专业，这样搞，对我们是非常不利的，甚至是有害的。这跟我们学习苏联有关系，52年学苏联以后，专业就基本上定型了。苏联在三十年代开始搞五年计划的时候，有它的特定条件。因为十月革命以后，苏联大量的知识分子流亡到国外，如搞固体力学的铁木申科，他是帝俄时代的彼得堡工学院（当时叫铁道道路学院）的教授，学土木的，他跟白匪一起跑到乌克兰，经南斯拉夫跑到法国，后又到美国西屋公司当工程师，最后在学校教书。这种人跑了很多。这样，当时苏联高等学校里就没有教师，五年计划期间，就由工厂里抽调工程师到学校里教书，由哪一个部抽调的，就建立什么样的学院，什么汽车学院、航空学院、土建学院，等等。这对当时迅速培养人有好处。但如果这样长期搞下去，对教师和学生都是不利的，专业很狭窄。可是二十多年来，这种方式已经成为我们头脑里固有的东西了，现在要改变这种方式，阻力很大，而且专业要放宽，教师也不适应，课一时开不出来。所以，改变这种专业过窄、过死的现象不是一下子就能做到的，但是首先要认识这个问题。

知彼知己，百战百胜，让我们看看一些工业发达国家是怎么搞的：

首先是大学本科的专业设置问题。理工合校是一个很重要的步骤。单独办工学院在科学技术迅速发展的今天不太容易跟得上步伐，尤其是单科性的工学院，如我国目前大量存在的钢铁学院、航空学院、化工学院，等等。这样讲，可能伤害一些同志的感情，发扬学术民主嘛，大家讨论，百花齐放，百家争鸣！这里我想谈一下美国马州理工学院的经验。马州理工学院在二十年代以前水平并不太高，但到了1931年，新校长上任，新校长是吴有训先生的老师卡·康普顿的兄弟，这个人非常有远见，他到马州来当校长以后，第一个步骤就是把物理系办成一个不光是给工学院教物理的一个系，而是把它提高到能够独立地培养物理人材的高度，而且找了一个28岁的教授作物理系主任，名叫斯雷特，这个人后来对整个马州理工学院起了很大作用。当时管理人员都不相信他是系主任，因为太年轻了。他到办公室去让管理员开门，管理员不相信，要他的证明，他只好回去把学校的委任状拿来，这样管理员才给他开

了门。他来了之后很有魄力，请了几位年青的物理教授把物理系很快建设了起来，使整个学校的学术水平提高了一个量级。我们现在都感觉到工学院基础课的教学水平较低，这影响了各个专业干部的培养。理工合校现在大家都大体上同意，但是真正办起来不是件简单的事情。

力学专业怎么办？放在什么地方？苏联主要在综合大学里，如莫斯科大学、列宁格勒大学，个别的在工学院，如列宁格勒工学院，但不普遍。52年我们吃了一个大亏，当时我们学校有搞力学的人，想在清华设力学专业，但教育部的苏联专家说，苏联的工学院内没有力学专业，只有在综合性大学内才有力学专业，这圣旨一下，教育部就不敢说了。不管怎么说，不同意在清华设力学专业，一定要设在北大。可是当时北大只有周培源先生一个人是搞力学的，怎么办呢？只好大家凑吧，总算把课程开起来了。如果在52年的时候，有那么几所工学院里开设力学专业的話，这方面的技术干部就比现在要多一些。无线电专业也是这样被苏联专家砍掉了，全国只剩下清华和南京工学院两家，后来到1958年才重新上。在欧美，力学专业主要在工学院内，但你看不到什么力学系、力学专业，而在土木系和机械系里有个分支，个别的也有在综合性大学里。这里说的工学院也包括在综合性大学里的工学院，因为在美国，独立的工学院是没有的。至少也是理工学院，如马州理工、加州理工等等，其他都是“University”——综合大学，由理学院、工学院、法学院、教育学院等组成。但是它的力学专业都是在工学院的各系，而不是在理学院的物理系或数学系。只有个别的，如西德的葛廷根大学，因为有一个流体力学的大师，所以在它的数学系里有一个应用数学分支可以学流体力学。在英国，也是这个传统，叫做应用数学。林家翘先生在马州也是这样，从应用数学的角度讲流体力学，作这一方面的研究。从人来看，熟知的在近代力学中贡献很大的普朗特是学机械的，钱学森同志的老师冯·卡曼也是学机械的，铁木申科是学土木的，他在去德国以前就已经是教授了，到德国以后，又跟佛培犀、普朗特等人学了些什么。这不是说从数学或物理出来的人就没有力学方面的成就，而是说，从总的看起来，比较多的是从工程出身的人，在力学方面作的工作多一些，对力学的发展贡献大一些。如钱令希先生就是学土木的，在这次会上给大家讲得这样深入浅出，是因为他有个很扎实的工程的底子，又在力学上下了功夫，所以才能这样融会贯通，既能分析，又能综合，不然的话，要做到这样比较困难。这一点恐怕是从近代力学发展中应该总结的一条经验。从中可以看出，我们的力学专业的人究竟应该怎样培养才能更好一些。力学是这样，其他技术科学也是这样。如工程热物理，在美国也看不到什么工程热物理系或专业。

下面谈在工学院内专业和专门化如何设置。一般说，在欧洲和美国、加拿大，力学专业都包括在机械或土木系里，所以，你要在美国大学一览表里找力学专业是找不到的，即使能找到，也不是在理学院，而是在工学院的那部分里。机械包括得很广，造船、航空都在机械系里，下面再分专门化，因为基础课都是一样的。不象我们这里专门设立三个航空学院，而且据说最近要大发展，还要建立三个航空学院，不知将来学航空的怎么办？我们一年生产有数的飞机，可是每年从航空学院出来的人不知道是制造飞机数的多少倍呢！外国是怎么办的呢？一般是在高班里面分若干个专门化，其中有应用力学的专门化。这是在大学本科，更多的是在研究院里培养研究生。本科也不象我们分为固体力学专业、流体力学专业，而是一个专门化里念几门固体力学课，念几门流体力学课程。在美国和西德都是一个人念一个主修，再念一个副修。西德一个学校，在机械系里有好多个专门化，学生可自选一个为主，一个为辅。

如学透平的，可以主要念透平设计，也可以念一个核工程为辅。这种人多半是到工厂里去作设计人员。也可以念透平为主，力学为辅，可以去研究动力机械的问题。反过来也可以力学为主，以透平为辅，这样的人多半到研究机关里去搞有关的力学的分析。这样就可以有各式各样的组合。如象我们现在这样截然划分专业，培养出来的人太单一。我们清华大学现在有四十多个专业，再增加专业非常困难。这样划分专业的办法很难适应千变万化的需要。因此专业的设置和教学计划不能太死。我们这样的学校毕业出来的学生往往闹情绪，说分配的工作同我所学的专业不对口，实际上这不是他本人的问题，而是我们就是这样培养了他，使他对专业的认识过于狭窄，只要工作同他们所学的专业稍有不同，就觉得是改行，是用非所学。

课程如何设置？我看过美国、西德、瑞典等国家的教学计划。大体上都有必修课、选修课，还有任选课。任选课不考试，但能扩大学生的知识面，开阔你的眼界。班次越高，必修课的份量越小，选修的份量逐渐加多。一年级只有10—20%的选修，高班可以高达50%的选修，个别学校到四年级时100%的选修，愿意念什么就念什么，如美国的加州理工学院。美国工学院课程大致分为四类：一类是基础科学，即数理化；另一类是技术科学，包括工程力学；第三类是专业课程，还有一定分量的人文科学和社会科学。在劳动方面要求不一样：美国基本上不作要求，四年中没有实习；西德和瑞典一般都有十七周的工厂劳动，作学徒工，在学期以外的暑假期间。美国所以这样，是因为它的机械化、电气化程度高，中学生一般都能开汽车，也能动手作一些修理，很多事情不用在学校里学。而在我们的学校里，许多东西都要从头讲。因为从边远地区来的学生，许多工业方面的东西没看到过。记得过去我给学生上课的时候，问学生什么是左手螺丝，什么是右手螺丝都不知道，因为他没有看见过。在这方面，我们不能照抄照搬人家，一定要结合我们的实际情况来考虑我们的学制和课程的设置。

年限，在美国一律四年，瑞典和西德稍微长一些。说是念八个学期，实际上加上毕业设计（美国没有毕业设计），在瑞典要四年半到五年，五年再念不完，就“请”走了，因为怕你占地方；西德四年半到六年。美国四年中，基础课和技术科学学得比较多，但专业课比西德和瑞典少。但美国有个办法，人到了工厂以后，大公司一般都有训练班，一年到两年，好的留下。小公司开不起训练班，就吸收大公司淘汰下来的人员。到了工厂，结合要搞的工作再学一段时间。

在教学方式上，一是非常重视基础课的教学，表现在有水平的教授都要去教基础课。这跟我们这里正好相反，我们是以教研究生为荣，基础课不愿意教，特别是水平比较高的教师。美国六十年代也忽视这点，去年我们访问的时候问到林家翘等人，说他们都在教微积分，不是每年都教，隔一年再教，但总是要教。林家翘讲，有名的教授去讲基础课，到课堂上去推导，不一定比年轻的教师推导得好，甚至有时因为年纪大了而推导错了。但是遇到关键的时候能够画龙点睛。这对学生的帮助是很大的。重视基础课这一点，要在高等学校教师的思想上来个转弯。否则，这和盖房子一样基础没打好，上层建筑就要歪。二是对设计和试验给予相当的重视。否则光学一点基础知识，还不能承担技术科学方面的任务。这一点，美国比较薄弱。原因是学生的学费已经太高了，再加许多试验，还得加钱。它有它的社会经济规律在管着它，影响了学校的教学计划。这一点是不足以为仿的。但是，好的学校还是很强调学生的独立工作能力。如马州理工学院的机械系，学生在做什么设计呢？举两个题目为例：一个叫做爬坡机，每个人给一口袋零件，自己去琢磨，不光设计，而且装配起来，到学期末比赛。另

一个题目是设计海上除油器。这种题目对学生的独立工作能力要求很高。依样画葫芦是培养不出学生来的。从学生质量看，文化大革命前我国高等学校毕业生的水平不比他们的低。进一步分析，中国学生分析问题的能力，搞一点理论比他们的强，但是在动手、独立工作能力、创造性方面又差一些。这跟我们几千年来重视书本、不重视实践的封建影响有关系。就是在美国的中国血统的教授的孩子，念书可以，但独立搞一点东西比较拘谨，而美国孩子就比较放得开，出点子，思想不太受拘束。

总的看，他们念得比较宽，学制比较灵活，基础打得比较好，也便于跨学科。这样，适应性比较强。因此，许多新的学科都在美国和西欧首先出现（苏联在这方面也稍逊一等）。

再谈谈研究生的培养问题。研究生的培养比过去长了一些。在美国，念博士学位至少四年。而在二次世界大战前一般三年。有的学科现在甚至要五年。要求独立解决一个问题，而且是人家没有解决的，要能往前推进一步。有一个典型的例子，今年年初在瑞典看到一个学校在研究如何打大型隧洞的课题。在我国，现在最大的隧洞可能是6米×9米。在欧洲，包括瑞典能打到20米×30米，这样便于机械化作业。现在瑞典想打40米×70米的大洞，我们听了吓了一跳。虽然它是花岗石的山，强度很好，但要打这么大一个洞，胆子是很大的。他们想了一个方案：在要打的洞的外围，先搞一个2米×2米的圈，里面加上钢筋灌上混凝土。这叫做岩石中“加肋”。然后再开挖。一个博士论文就要对二维和三维应力状态进行分析，要求是比较高的。在美国也看到一个美籍中国学者田昌霖先生带研究生研究燃烧过程。研究生基本上是不脱产的，有的是工业部门送来的，有的是当助教的。在美国，一般是前两年念课程，后两年做论文。在欧洲，不念课程，主要是独立研究。招生办法是自己报名，由两名教授推荐。有一点值得我们注意，美国不着重招收本校的毕业生。马州和加州理工学院都是美国第一流理工学院，毕业的学生有多少能作为自己的研究生呢？加州理工学院说得非常绝对，说我一个也不要，都送到别的学校去。为什么呢？这叫“远缘杂交”。说在自己的学校里，学生已经听了不少人讲课，现在要到别的学校去，听听人家是怎么讲的，受一些不同的教育，这对成长有利。从加州理工学院的教师的履历表看，很多是本校的毕业生，然后到别的地方去念博士，后又回到本校来教书。也不是所有教师原来都是本校毕业生，不搞清一色，可以说是来自各个地方。这同我国情况正好相反。我们这里总认为，别的学校怎么会给你送好的来呢？没有办法，只有把自己好的毕业生留下。这实际上是一种本位主义，在观念上看不到吸收别的学校来的人的好处，总觉得“孩子是自己的好”。要改变这种状况并不容易，首先自己要舍得把好的学生、好的助手给人家，不能光指望人家把好的学生、助手给你。在我国还有个户口问题，外地来个人，北京市不准迁入，也没有办法。西德有个学会，相当于我国的科学院，有四十多个研究所，它保持40%的人是稳定的，其余60%是流动的，有意识地让他们到别处去。关于培养研究生的问题大体上就是这样。如果大家对美国哪些地方培养研究生的问题有兴趣的话，可以看一看美国的《工程教育》杂志，每年三月号介绍全国的工业院校哪些专业招收考博士学位的研究生。总的看起来，美国研究生的数量很多，比例很高。马州理工学院的大学生是4500人，研究生有9000人，两年以后，很多人毕业了，真正做博士的没有这么多人。

美国和欧洲大学的科学研究。如果说，文化大革命以前，我们大学的毕业生水平同他们差不多的话，但在科学研究的水平上，则要差得多一些，特别是在科研的工具方面。我们清华大学连一台计算机都没有，这就没有办法比。到美国大学的实验室去看一看，到处都是计

算机，每台实验设备都跟有一台小的处理机，更不要说每个大学都还有一个大型的计算机。我们要承认这个差距是很大的，必须花很大的力气去解决。他们的特点，一个是在大学里，教学与科研并重。每个教师既搞教学又搞科学研究。这就是我们邓副主席说的“两个中心”。美国基础科学的研究和技术科学的研究基本上是在大学里干的，工业部门主要发展产品。当然从经费来看，60%的科研费是花在工业部门的，因为大型试验用的设备花钱多。在西德和瑞典，大学做工程方面的研究比美国还要多一点。研究什么？短期的研究任务大学不搞，一般都是搞比较长些的研究课题，便于学校安排。其实，美国学校搞科研也不是各种条件都很好，如申请科研经费就要花很大力量，要跑好几趟华盛顿（许多基金会的所在地），很多设备的购置也都从这笔科研经费中开支，学校没有什么钱给你。不象我们这里张口五万元，闭口十万元，他们那里没有那么容易。申请报告要写得非常详细，并且经过严格的审查，通过后才给钱。还有一个特点是，跨学科的研究抓得比较好。因为许多新东西都跨学科，并不都是学校里学过的东西，需要多方面的人一起搞才行，所以往往需要成立跨系的甚至是跨院的研究中心。研究中心的任务就是搞科学研究，参加的教师的教学任务在系里解决。升级的问题，研究中心也不管。也就是说屁股基本上坐在系里，研究中心光搞科研。这种研究中心有短期的，也有长期的，短期的就是为了解决某一个具体问题而成立一个研究中心，这个问题解决后，这个中心也就解散，各回各的系。也有一些长期的，如马州理工学院的肿瘤研究，是长期的，规模很大。

下面再谈一点队伍的成长问题。这里包括在高等学校的工作的，也包括在研究机构里工作的。学校里培养人员是一个方面，社会上还有各种长、短期的培养办法。长期的如工厂或研究所选择一些有培养前途的人送到高等学校去深造，由它出钱，念一个硕士或博士，也就是脱产研究生。欧洲多半是在职研究生。短期的如讨论班或讲习班，有几天的，有几周的，也有几个月的。很多是由学会主办的。学会是很活跃的。我们现在的学会还差得很，学会变成了一个行政机构的附属单位，不能充分发挥学会的作用。他们的方式可以说是多种多样的。老年的、中年的教师带青年教师，组成了梯队。在高等学校里培养研究生，在研究机构里也培养研究生，但要在高等学校举行答辩。每年出来的博士的数量并不是很多的。美国科学基金会两年作一次的统计里有一个指标就是每年出了多少博士，跟别的国家比较，看自己技术队伍的成长。现在美国耽心这种趋势有点下降。美国总统的科学顾问也抓这个指标，美国每年出了多少研究生，从中看美国的实力。第二点就是学术活动非常活跃，学术民主比较好。有地区性的，也有全国性的、专题性的和国际性的。反应堆结构力学会议每两年召开一次。还有一种半成品的交流会，他们叫“Workshop”（原意为车间），就是整个研究工作还没有做完，为了互相促进，使进展更快一点，组织一些讨论会，互相交流。这种形式现在很多。还有就是在单位内部举行文献报告会，这是多年形成的传统，在美国和西欧都是如此。一周一次，两周一次都可以。因为一个人看的文献总是有限的，参加报告会，听一听人家看的文献总是有好处的。林家翘说，如果他愿意的话，在波士顿地区他可以每天下午参加文献讨论会。因为他有多种兴趣，既搞天文，又搞应用数学，又搞流体。他说他每周参加四个报告会，两个在马州理工学院，两个在哈佛大学。下午四点到五点去听。他说他主要靠听。这一条在我们这里也有阻力，觉得跟我自己没有关系，不愿意去听；有的觉得光听听文献有什么意思？其实这对开阔我们的思路、活跃学术讨论、交流观点、了解人家新的东西都是非常重要的。我们的高等学校和研究机构都应该狠狠抓住这一条。第三点，他们的科技队伍是一股活水。不

仅吸收外校的学者，还吸收外国的学者，这可以说是一个传统。高校都有六年一休假的制度，就是在一个单位工作了六年以后，可以到别处去工作一年，在本单位算休假。这样有利于交流，也不脱离本单位。学校到学校，学校到研究机构，甚至可以到科学管理机构去工作，如有的教授在休假期间到美国科学基金会工作。这样也有利于对全国情况的了解。也有到外国的。在休假期间，学校只给半薪，也逼着你到外单位去工作。还有一点就是他们的科技人员是少而精。这也跟我们形成一个鲜明的对比。我们是人海战术，中国九亿人口，但是科技干部的人数还是很少很少，要充分发挥每个人的作用，大家都拥在一起不行。研究单位过大是不利的，支部书记、研究组长成天做思想工作、组织工作，没有多少时间做研究工作。

总之，无论是美国或者西欧，对于科技队伍的培养不论从数量上或质量上都是十分重视的。在这方面，我们必须下苦功夫，这样才能使我们更快一点，否则跟不上。对于科技干部的培养，需要各方面的努力，不能只是高等学校的事，大家都要关心。

最后，谈几点个人的建议。

现在如何提高在职的中年科技骨干的水平极为重要。因为这批人基本上已成熟，再提高一步，其作用比刚从学校里出来的人发挥的作用要大得多。提高的办法还是以任务带学科，在战斗里成长，在集体中成长。这里要解决一个主角与配角的关系问题。水平不高怎么办？还是由近到远，缺啥补啥，然后再结合系统的补习，而不能象有些同志那样，从头开始学数学，再学物理，这样学下去哪能行！胡子太长了。以任务带学科，这是一九五六年搞科学规划时李富春同志给我们提出来的。当然，有些学科不能靠任务带。但是反应堆结构力学恐怕是可以任务带学科的。

具体的建议有如下几点：一是要加强国内的交流，如反应堆结构力学学会是否可以每两年召开一次，跟国际会议交叉起来。二是召开一些小型的讨论会，如刚才所说的半成品交流会。人数不要太多，题目可以专一点，一年一次或半年一次，分摊召开，20人或30人，也容易找地方。三是开短期讲习班，时间可以为一周、两周或三周，不要过长，由研究所、设计单位、高等学校共同组织，大家出入，这样对某一个问题就可以讨论得充分一些。四是互相兼职，研究人员到高等学校来讲一门课，十小时、二十小时都可以，不要怕，不叫你写讲义，有一个提纲就可以了；高等学校教师也到研究所去参加科研工作或作顾问，日本、美国、西德都是这样做的。这样，我们的力量就能更充分地发挥作用，设备也能得到更好的利用。五是组织进修，派研究生到高等学校来，或是脱产，或是带职；高等学校教师也可以到研究所去。六是争取多参加国际学术活动，参加的人数当然不能很多，但回来以后可以做报告。七是短期或长期出国进修，现在有很有利的因素，美国欢迎我们去，西欧更不必说。原因可能一是中美两国人民有传统的友谊；二是过去对中国学生的印象比较好。一般说起来，中国学生在那里学得都不错。加州理工学院院长今年九月到我们这儿来访问，走的时候在机场问我：“你说我们为什么愿意收中国学生呢”？我从大的方面来回答，如友谊啊等等，他说：“我们就是希望有好学生到我们学校来”。美籍中国学者是很多的，哪个学校都有中国教授。还有一个原因是他们缺人，技术人员少，有了研究经费没有助手，很愿意人去参加他们的工作。关于外文学习，现在似乎有点过了头，我个人认为，学外文首先是为了看文献，这是最主要的。如果学了半天，还是一小时看2000个符号，那么一大堆文献怎么办呢？一小时看四、五页的速度要有，要做到基本上离开词典理解其内容。有了阅读能力后，再有精力可以写一写。至于说和听，要不是出国或跟外国人接触很多的话，那是次要的，不要在这个上面花很

多功夫。真正需要的时候，两、三个月就上去了。尤其到了国外，不说也得说，一逼就出来了，没有什么了不起，不要把说话的难度估计得太高了。关于大学生、研究生怎么培养就不讲了。最后说一点，要注意培养实验员的队伍，现在这是个大危机。实验室，教师也不愿意去，实验员也不愿意去。这有许多因素，我们要在思想上解决问题，物质待遇上也要解决问题才行。

总的说来，我们中国人民既聪明又勤劳，现在中央的方针非常明确，在正确路线指引下，有这样强有力的党中央领导，我们一定能够实现四个现代化。反应堆结构力学的队伍也一定能够更快地成长，对我国的四个现代化做出应有的贡献。

大连工学院副院长钱令希教授的讲话

1978年12月15日

参加这个会，看到反应堆结构力学的工作从无到有，虽然受到林彪、“四人帮”的干扰破坏，今天仍然能在一起检阅我们这几年来所做的工作，看到我们工作的成果、队伍的成长，心里感到非常兴奋。会议的领导、组织者要我谈谈自己的看法，我谈不好，无非是老生常谈，淡而无味，不过心情是很兴奋的。

总的来说，我感到结构力学这门很重要的力学分支，最近二十年来发生了深刻的变化。这种变化迫使我们不断接受新的事物，接受新的考验。我自己感觉，年轻时候所学的、下了许多功夫所搞的东西，现在差不多都没有用了，用不上了，因为情况变了。剩下一点什么东西呢？剩下一点用得着的是一些基本的理论和概念。不要说我自己，有许多人，像我们的老师和许多同我们一起工作过的同事，有的搞了一辈子，无非是研究、解决了结构力学中某几个特殊结构的分析问题，或是研究出了某种简化的或近似的计算方法。今天看来，这些问题用电子计算机是很容易解决的，而且解决得更好、更合乎实际，且不说速度可以提高不知多少倍了。以前下了那么多功夫，搞了些研究，在当时很解决问题，可是好多东西到今天只好搁起来了。我们应该得到一个概念：要不断接受新事物，不能停留在原地。要前进，重要的是基础要打好；打好基础，就能接受新事物。听了昨天和今天的八个报告，作为一个老的结构力学工作者，感到有许多新的东西，如果不努力学习，就听不懂。随着四个现代化的进展，我们要不断地学习新东西，而最重要的是要有基础。有了基础，学什么都行，没有基础，就很困难。

当前，结构力学发生了深刻的变化，主要原因是出现了电子计算机。现代工业对结构力学的要求更多、更严了，我们碰到的问题越来越复杂了。反应堆结构力学以前是没有的，我们读书的时候没有想到过，工作了几十年也没有想到过。后来，由于原子能工业的发展，对结构力学提出了新的要求。还有上天的、下水的，都对结构力学提出了新的要求。各行各业都离不开结构力学，问题越来越复杂，条件越来越苛刻。所以，在工程力学范畴内，结构力学是一门很重要的学科。同时，我们深深感到，结构力学要应付这么多新的要求是很困难的。幸亏电子计算机为我们提供了条件，使今天的结构力学工作还能比较主动。遗憾的是过去的十来年，由于林彪、“四人帮”的干扰和破坏，我们基本上虚度了十多年，而这十来年正是国际上结构力学最活跃、发展最快的十年。今天，我们开这个报告会，大家有个共同的愿望，那就是我们要奋发图强，急起直追，赶上去。这个报告会的意义也就在于，把总结一下过去的经验作为新的起点，迅速赶上去。这两天所作的报告，大多是在最近三四年中所做的工作。在这样短的时间内能解决这样复杂的问题，不简单。看起来，我们是能够赶上去的。只要下功夫，学起来还是快的。计算机是个重要条件。在国外，现在软件是个危机，机器发展很快，软件跟不上。我们还不到这种程度，我们现在硬件是个危机。中国人的软件功夫是不错的。好比下围棋，外国人下不过东方人，搞软件跟下围棋差不多，凭这一点，我们的软件是会搞得好的，但是硬件还不行，跟不上。最近接触了一些很有才能的青年人，他们对软件有许多很好的想法，也作出了许多成绩，但是机器不好，不稳定，操作系统不好，外围设

备也不配套。这个问题，国家正在想办法解决，前景是很好的。

我们首先应该了解结构力学发生了哪些变化。这对我们进一步来发展这门学科是有好处的。我个人的看法，这方面的变化主要有下面几个方面。一个方面是结构力学的研究对象比过去广泛得多了、广义得多了。以前结构力学主要研究杆系结构，包括桁架、刚架等等。我们读书时就学这些。后来教书时又教些什么呢？除了结构力学，还教弹性力学、塑性力学、板、壳等等课程。以前结构力学的研究对象就是限于杆系。至于二维、三维问题，还有板、壳以及各种组合结构等等，那是另外的一些课程。后来，实践中碰到了水与结构的相互作用、空气与结构的相互作用、土与结构的相互作用，这些也都不属于结构力学的范围之内。今天，由于有了计算机这个新型的工具，我们就可以统一来处理这些对象，这些对象都可以在我们的结构力学范围内统一解决。结构力学从狭义变到广义，这才成为真正名符其实的结构力学了。所以我说的第一个变化就是结构力学的内容从狭义的范畴扩大到了名符其实的广义的结构力学。

第二个方面的变化就是它的任务。以前的任务就是做结构分析，把给定结构的应力、变形计算出来就是了。那个时候，在习惯上“分析”与“设计”这两个词使用起来是不加区别的，好像是一回事。现在看起来，设计与分析完全是两回事：分析是给你一个结构，尺寸、条件都给定了，然后请你分析这个结构在各种外力作用下反应如何；设计则反过来，我要一个结构，这个结构要具备规定的功能、能满足规定的条件，请你设计出一个比较理想的结构来。一个是给定一个结构要你作分析，一个是提出要求请你去设计合理的结构，这是两回事。以前，结构力学的任务限于分析，当然，那时完成分析的任务就已经很不容易了。但现在则把设计也作为结构力学的任务，就是说，不仅要会分析，还要会设计。就像医生一样，不仅要会检查病，还要会治病，改造并创造结构。当我们能担当这个任务时，结构力学才成其为真正的结构力学。

还有第三个变化，那是在结构力学的理论方面。结构力学的基本理论实际上在一百多年前就建立起来了。无非是把力的平衡、变形的协调、材料的力学性质三者统一起来。但是，理论尽管建立起来了，很多结构还不能很好地分析，更谈不上设计。虽然有了理论，但具体计算起来还是很困难。也就是说，基本理论和概念是清楚的，但却不能充分发挥作用。结构分析的基本方法有两个，就是力法和变位法。从力法发展到变位法就经历了几十年。这些都是很可靠、很结实的理论和方法，但都不能广泛地解决实际问题，只能解决很简单的问题，或是把一个复杂的问题简化为一个很简单的模型来处理，或是想尽办法研究一些近似的计算方法。所以，以往的学者往往一生花很大的精力去解决某种类型的结构分析。比如一个空腹桁架有9个节间，就需要解27个联立方程。今天看来，简单极了。可是过去就得想办法克服解联立方程的困难。那时候，有人为空腹桁架建立了一个三X方程式，形式像连续梁的三弯矩方程，就被认为是很大的功绩。后来又有人想出了用逐次分配内力的方法来分析空腹桁架。人们花了很多精力，都是为了解决原来的计算上的困难。现在用了电子计算机，这些困难已不在话下。现在的情况是，一方面结构力学过去理论可以尽情地发挥作用，另一方面结构力学工作者可以有更多的精力去研究和发展理论了。

总而言之，结构力学的变化非常深刻，现在结构力学理论的活力更大，应用更广泛、更有效，前面的路子也更宽了。但是，要为多快好省地建设社会主义、为四个现代化服务，结构力学工作者要做的工作很多。四个现代化离不了建设，离不了结构，结构做得好坏，关系很大。为了多快好省地建设社会主义，我们有责任很好地发展现代化的结构力学。不过，现

在也看到一些应该注意的苗头。比如,过份地依靠计算机,认为计算机可以解决一切问题,而在学校里忽视了力学的教学和研究。结果学生的力学概念没有建立起来,将来就不能独立处理问题,不能往前走。如果编写结构力学教材,其中只有计算没有力学,这对学生来讲是不行的。还是要力学为主,计算毕竟是工具,必须打好力学这个基础。

可以认为近代结构力学的内容有两个方面:一个是分析,一个是综合,也就是分析与设计。

先讲讲分析。结构力学在电子计算机出现之前的主要工作就是分析。谈谈历史,可以看到将来。十九世纪七十年代就出现了杆系,那时候,结构力学的基本概念就建立起来了。那时主要研究对象是屋架和桥梁,用的方法是力法,先解决结构的内力,然后再求出它的变形。从1870年到1920年,这五十年中结构力学发展比较缓慢。一个原因是当时生产上要求不那么迫切,许多结构用经验、半经验公式也就可以对付了。1920年混凝土结构出现了,就出现了变位法。于是人们有了选择余地:混凝土刚架用变位法来分析,桁架则用力法来分析。这就跨了很大一步。到了1932年,又迈进了一步,出现了弯矩分配法,使我们可以解决复杂一点的问题了。这种方法及其变种差不多统治了二十年。一直到1957年电子计算机被引入到结构力学领域以后,才开了新生面,结构力学解决问题的能力提高了几个量级,结构力学发生了上述那些深刻的变化。

回忆五十年代初期,当时很多人没有预见到电子计算机会使结构力学产生如此深刻的变化。只有少数有预见的学者把矩阵数学引到结构力学中来,把矩阵和能量原理结合起来,发展了“有限元”的理论与方法。这样,就把结构力学的命运同计算机结合了起来,也把结构力学中的杆系结构同连续体组合结构结合了起来。

有限元法的发展有三个阶段:第一个阶段是直接把杆系的变位法推广解决连续体的问题。这是一种直觉的推广。为连续体构造了一个离散模型,这个模型是用人造元拼起来的。这些人造元之间只在结点上连续的,就像杆系结构的杆件只有两端连接起来一样。那个时候的有限元法,怎么方便就怎么做,有的成,有的不成,没有严格的理论指导。这是感性阶段,这个阶段时间不长。

第二个阶段是理性阶段。在六十年代,在数学工作者的参与下,搞清了有限元同能量原理之间的联系,用能量变分原理建立了有限元模型的刚度矩阵。有限元方法实际上也可以看作是应用能量原理的瑞利-李兹法,但比以前用的瑞利-李兹法在功能上要高明得多。譬如,以前这种方法只能解决一块方方正正的板或者规则的圆形、椭圆形板,稍微不规则一点就不行了。因为要在不规则的大域中假设一个合理的应力分布场或变位分布场是不容易的。但是有限元法的要求不同了,它只要求在各个离散的有限元内假设一个近似应力场或应变场,最简单的假定是在有限元内应力或应变是个常数。重要的是,用这样简单的假设,只要有限元分得相当细,就能够得出很好的结果。这样就使能量原理大大地发挥了作用。以前要求对整个结构假定一个合理的近似应力场,当然是很难办到的。现在只要求对一个有限元的范围假定一个合理的近似应力场,这就好办得多了。有了有限元法,最小势能、最小余能等这些变分原理都可以大大发挥作用。后来又推广到应用广义变分原理,这样就使有限元法有了既可靠又灵活的理论基础。现在已建立了许许多多的元,有直杆的、曲杆的、平面二维的、弯曲二维的、三维的等等。各种各样的元都可以通过能量变分原理来建立。这一阶段主要是在六十年代,建立各种元的文章多极了,到六十年代末期达到了高潮。