

结构工程科学的未来

论文集

全国结构工程科学的未来研讨会

国家自然科学基金委员会
材料与工程学部委托召开

清华大学出版社

内 容 简 介

本书汇集了1987年全国结构工程科学的未来研讨会的21篇论文，分别展望了与结构工程有关的各个学科领域今后发展的方向，取材较新，内容广泛。包括了结构材料、结构设计理论、新结构型式、特殊功能结构及结构防灾等方面。本书可供从事结构工程的科研、工程技术和教学人员参考，也可供领导部门在工作中参考。

结构工程科学的未来 论 文 集

全国结构工程科学的未来研讨会

*

清华大学出版社出版

北京 清华园

北京昌平环球科技印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本：850×1168 1/32 印张：3.25 字数：85 千字

1988年6月第1版 1988年9月第2次印刷

印数：1 001-3200 定价：1.20元

ISBN 7-302-00269-X/TU·23

目 录

全国结构工程科学的未来研讨会会议纪要	(1)
王光远 工程系统设计理论展望	(3)
王铁梦 结构理论应与工程实践紧密结合	(10)
朱可善 地下结构工程和地下空间的利用	(15)
朱伯龙 工程结构防灾的未来	(19)
吕志涛 预应力混凝土结构的未来	(23)
刘西拉 江见鲸 发展结构工程中的智能辅助 决策系统与仿真技术	(28)
何广乾 建筑材料与未来的建筑结构	(31)
宋金声 对我国结构工程科学展望的一些意见	(36)
吴健生 何广民 李波 展望结构工程科学的 未来	(39)
李桂青 结构控制与控制结构	(44)
陈行之 量大面广的砌体结构的研究	(49)
陈志源 结构工程材料的展望	(54)
陈 聃 资源能源工程结构技术的展望	(58)
张 琳 发展桥梁结构工程技术要重视材料基 本性能的研究	(62)
周其刚 圈论及广义逆理论在未来结构分析与 综合中的应用	(65)
赵国藩 钢筋混凝土结构发展的展望	(68)
徐祥文 胡宝生 结构抗震防灾	(73)

梁启智	谢理	中国高层建筑结构的展望.....	(76)
曹居易		关于预应力混凝土未来发展几个 问题的看法.....	(81)
黄金枝		工程结构系统的能量分析原理与主动 设计方法.....	(88)
董石麟		大跨空间结构新技术发展问题.....	(93)
编后		(98)

全国结构工程科学的未来研讨会

会议纪要

国家自然科学基金委员会的材料与工程学部委托清华大学土木工程系主持的“全国结构工程科学的未来研讨会”，于1987年6月2日至4日在北京召开。来自全国各地20个单位的专家、教授共24人。会议期间对结构工程科学国内外现状、科研成果、发展趋势充分交换了意见；对从现在到公元2000年左右结构工程科学的重点研究方向和范围进行了讨论。会议期间，国家自然科学基金委员会师昌绪副主任、材料与工程学部李恒德主任和袁海波副主任等到会对会议的要求发表了意见。与会者认为：

一、当前结构工程学科发展出现了一个新局面，其特点是：

(1) 各现代学科，特别是计算机科学和材料科学向结构工程渗透。(2) 学科之间、部门之间的协作交叉日趋增多。(3) 信息交流，特别是与国际之间的学术交流，日益迅速、广泛。在此形势下，传统的结构工程学面临着新的发展势头。

根据有关方面预测，我国到2000年工农业总产值将以更快的比率增加；城市和城市人口将继续发展；人民消费水平，特别是农民的消费水平将有大幅度增加；我国规划中准备开发和建设的一些重大经济命脉工程也将陆续开始；对外开放的工程活动会大大增加。在此形势下，我国结构工程学科的发展应该注意在瞄准学科发展前沿的同时，注重社会效益，增强我国在国际上的

技术竞争力；要结合我国国情，注意节约用地、节约能源，鼓励学科之间的交叉、渗透、合作与联合，鼓励国际交流，并大力培养人才。

二、结构工程科学重点发展的项目是：

1. 改性材料和新材料在结构工程中的应用。混凝土的改性应置于首位，以发展高强轻质、高延性、耐腐、耐高温、抗渗等各种混凝土，研究它的结构性能。新型预应力混凝土也很重要。进一步探索各种新型结构材料及其应用。但在材料的发展和应用时，应注意节约能源和提高结构功能。

2. 量大面广的建筑结构中的基本问题。在发展城镇农村通用小型构件和各种砌体结构中为改善其性能所需研究的基本问题。

3. 新结构和特殊功能结构。注重以下工程类型中的新结构形式：高层建筑和大空间建筑、地下工程、桥梁工程、资源能源工程、防护工程等。新结构的原理方面则有：复合和组合结构、利用空间作用的结构、可控制性能的结构等。

4. 结构抗灾和结构失效防治。结构抗灾的重点是地震、风灾和火灾。重视灾害的环境作用和极端条件下的结构性能和反应控制。重视已有工程结构物的耐久性问题。研究保护技术，防止结构的非正常失效，延长必要的结构寿命。

5. 结构工程设计和质量控制的理论与方法。发展和探索现代横向学科和新数学方法（如系统理论、模糊数学等）在结构工程中的应用。发展创新设计理论和分析方法（如不确定设计理论、总体设计方法、反分析方法等）。研究设计、诊断、评估等智能辅助方法、模拟仿真技术以及其他计算机新技术的应用。注意理论方法与工程实践的联系。大力发展结构质量控制方法，强调重要结构工程的安全可靠性。

工程系统设计理论展望

王 光 远

(哈尔滨建筑工程学院)

提 要

工程系统未来的设计理论可能具有下述四个特点：（1）信息处理科学化；（2）大系统多目标优化；（3）结构行为自控化；（4）设计人工智能化。

一 工程设计理论的发展及其现状

我们认为，设计领域包括人类在解决各种问题时对方案的构思和规划的一切活动。构思的目的是建立或产生解决问题的各种方案，而规划是对所有可用方案进行优选。

工程系统的设计是一种综合的创造性的集体劳动。它由几个阶段组成。它们是整个工程系统的可行性分析，整个工程的总体布置，各个具体结构的设计和施工方案的设计。

在上述四个环节中，目前比较成熟的是具体结构的设计方法。这就是首先根据对结构的功能要求和实际的客观条件来决定结构的类型、结构拓扑（包括结构总外形，各部分间的连接形式和所采用的构件等）和所用的材料，然后进行规划，即结构的优

化设计。目前能够用数学形式表达出来的，也仅仅是优化设计这一部分。

任何一个学科或研究课题，都受到相邻学科以及客观条件的制约。只有在这些约束中的一个或几个被解脱时，学科才能得到迅速发展。当这点优势耗尽以后，学科又恢复缓慢发展的状态。因此，学科和课题的发展总是一个缓坡接一个陡坡这样反复上升的过程。

由于相邻学科（特别是数学）和客观条件的限制，尽管结构分析的理论和方法在不断地提高，而结构设计理论却发展得很缓慢，远不能与当前其他一些先进科学领域所取得的辉煌成就相适应。因此，各种新兴学科，象系统论、信息论、控制论、人工智能、不确定性数学、计算机科学等等，必然要继续向这个领域渗透。所以，笔者认为现在条件已经成熟，工程系统的设计理论正在面临突变的飞跃阶段。

二 信息处理的科学化

情报是否正确和充分是作战胜利与否的关键；同样，信息处理的是否得当决定着设计的是否合理和符合客观实际。

对信息有两个方面的要求。一方面，要求信息具有正确性和充分性，这包括掌握取得信息的手段和对信息的加工，即通过由表及里和去伪存真的方法正确地认识取得的信息。另一方面，要求在设计中正确处理这些信息，如实地反映各个信息的性质和特点，即信息处理的科学化。

在四十年代以前，在工程设计中把一切信息都看作确定性的东西，即在一定条件下必然要发生的具有确定数值的事物。

四十年代后期，首先在苏联将概率和数理统计的方法引入结构设计，产生了安全度理论，后发展为结构可靠性理论。

工程中模糊统计决策所要解决的问题。决策的关键是决策者的

五十年代后期，在苏联、美国、日本和我国，同时开始考虑把风载和地震荷载作为连续随机过程处理，从而产生了现在的随机振动理论。

六十年代中期，人类开始认识到事物的另一种不确定性，即模糊性。这个概念迅速地在数学的各个分支得到应用和发展，而形成现在的模糊数学，并在自然科学、工程技术和社会科学各个领域中得到迅速发展和广泛的应用，并且都取得了很好的效果。

我们知道，随机性是由于事件发生的条件无法严格控制，以致一些偶然因素使试验结果所具有的不确定性。这是因果律的缺陷形成的，而事件本身具有明确的含义。随机事件的特点是试验结果的不可预知性。而模糊性是由于某些事物没有确定的定义和评定标准而形成的不确定性。这里即使试验结果已经得出，但由于排中律不成立而得不出确定的结论。模糊问题的特点是其中某些事物的边界不清晰。

概率论是从不充分的因果关系中去把握广义的因果律，即概率统计规律。而模糊数学是从某些事物的中介过渡中寻找广义的倾向性。

八十年代初，我国、美国、日本、英国都开始研究模糊数学在工程设计中的应用。

我们相信，全面考虑各种不确定性因素的这些研究工作的进一步深入和完善，必将产生一个新的设计理论——软设计理论。

三 大系统多目标优化

系统就是若干单元组成的具有特定功能的整体，在它的各个单元之间存在相互作用和相互依存的有机联系。

整个工程项目构成一个系统。如果再包括影响该系统的外部单元和受其影响的外部对象，则可称之为大系统。

系统工程作为一个学科，就是更好地实现系统的功能而对其

构成单元、组织体系和控制机构等进行分析 and 设计的科学方法的总称。对系统进行优化，就是在满足约束条件下，从所有可行方案中按一定的评价标准找出最优方案的技术。

实际上，所谓“最优方案”只具有相对的或数学的意义，或在非常狭小的范围内存在，而在错综复杂的现实世界中是不存在“最优解”的。首先这是因为，评定方案优劣的标准有模糊性和主观性，以及随时间和条件而变的随机性。其次，是由于作为寻优基础的各种信息具有不确定性，即随机性、模糊性和不完整性。

美国著名学者，多种国际最高奖获得者，赫尔伯·西蒙从心理学、经济学和计算机技术的角度，对此进行大量的研究后指出，从实际出发我们追求的应该是“满意解”而不是“最优解”。这个观点具有极为重要的实践意义，可以使优化技术更为合理并得到很大的简化。

大系统优化的特点就是：大系统的总目标和它的各个子系统目标之间存在矛盾，从而各子系统的局部优化所得的结果，并不意味着大系统本身的优化。

此外，工程的优化往往具有多项目标。目前我国工程设计的经济原则是：在满足规范要求的前提下，造价最低的方案就是最优的方案。但是，即使单纯从经济观点来看，这种方案也不是最经济的，因为它没有考虑长远的经济效益。我们认为，工程设计最少要考虑三个目标：造价、维持费用和遇到自然灾害时的损失的期望值。其中包括次生灾害的影响。

在结构模糊优化设计中，由于考虑了物理量的允许范围的模糊性，从而使约束条件从“硬”转化为“软”，这样得到的就不再是一个所谓“最优解”，而是一系列“满意解”，这就为更好地解决多目标优化问题提供了条件。

工程设计是根据现有信息来预测各种方案在未来环境中的表现，这是处理一次性的随机事件，因而具有风险性。这就是系统

“效用函数”，即各种方案在决策者心目中的效用。效用函数决定于决策者的心理素质和他所掌握的物质条件。

此外，在系统优化中还可以利用系统的“综合仿真技术”，这时可以利用形象模型（实物）或解析模型（计算机程序）来反映实际系统和它所处的环境。

四 结构行为自控化

在结构的常规设计中，只考虑正常情况下让结构依靠自身力量来抗御外来的影响。这样，在遇到意外的强大的外来干扰时，结构就无法正常工作，甚至遭到破坏。结构控制的概念就是在结构上附加“控制机构”，以控制非常荷载作用下结构的最大反应。

结构控制分为消极控制和积极控制两类。其区别就在于积极控制机构需要输入能量才能运转，而消极控制机构则无此必要，可以自行发挥作用。过去常用的振动机械的各种减振措施，都属于消极控制的范围。

目前已提出的积极控制方法，大多属于反馈控制。这种反馈式的积极控制机构由三部分组成：首先利用传感器把结构的反应拾起；然后小型计算机（电脑）把传感器传来的信息进行加工，求出最优控制力；最后由受电脑控制的驱动施力设备把最优控制力加于结构，以控制其运动。

这种积极控制的方法，已用于航天器和精密仪（机）器的减振，但目前还很难用于工程结构，主要的困难在于很难实现强大的控制力和巨大的能量输入。

进一步可以设想，以后有可能设计出具有高度自控制能力和自适应能力的自控结构，在正常的和非正常的工作条件下，能控制自己的反应，以满足服务目标的要求。在环境或使用要求改变时，能自我调整以适应改变了的条件和服务目标。

五 设计方法的人工智能化

人工智能是计算机科学的一个分支，研究如何利用计算机语言来表达人类的知识和应用这些知识，而使计算机在一定程度上具有人类的智能，包括贮存信息、推理、学习、理解和其他类似认识的能力。

知识工程是人工智能这个最新知识领域的一个子域，它主要研究如何利用知识求解通常需要人类智能才能解决的问题。

当前知识工程的主要应用形式就是专家系统。专家系统的建立是为了把有关专家们的经验综合起来，不断改进，用以对有关问题进行评价和决策。

专家系统是能分析、处理知识和数据，并通过一定的法则完成某些推理过程的程序系统。因而必然可以用于工程系统的设计。这样在设计过程中不仅可以利用设计师们的知识和经验，而且可以利用不在场的专家们的知识和经验。此外，它还可以将本次设计的某些新鲜经验反馈给知识库，以完成本系统的自学习过程。

目前国内外都在积极研究各个领域的专家系统，包括在工程设计中的专家系统。相信不久的将来必能开出鲜艳的科技之花。

六 结 语

上面我们列举了未来的工程系统设计理论所可能具有的特点。所有这些因素考虑，都会使工程设计的计算工作量大为增加。这是必然的趋势。在本世纪三十至五十年代期间，结构理论工作者的主要任务是研究结构计算方法的简化，在当时这是完全必要和正确的。但时代在前进，科学理论和计算技术在飞跃地发

展。结构理论工作者的任务当然要随着条件的改变而改变。我们认为，当前结构理论工作者的主要任务，是要充分利用现有的科学成就和计算手段，创立新的设计理论，使设计过程中的构思和规划，能更全面更如实地反映工程系统的工作情况和服务目标，从而使设计更为合理并相应地带来社会和经济效益。

结构理论应与工程实践紧密结合

王 铁 梦

(冶金建筑研究总院)

大量的工程技术问题，其中许多都是以工程问题提出，以结构理论处理，以经济问题结束。工程建设，特别是大工业的工程建设迫切需要结构理论的指导，然而事实上，经济建设依靠科学技术的道路是崎岖的，深有理论脱离实际之感。

一 结构理论的经济价值

宝钢具有高度自动化和连续化生产装备，对地基的变形有着严格的要求，采取钢管长桩加固地基的方案，对这一新技术我国缺乏经验，用了一百二十万美元请日本人做钢管桩承载力的大型野外试验。日本的试桩技术是相当先进的，但由于他们对上海软土缺乏认识，选用了壁厚为16mm的各种钢管桩进行试验，在地基尚未到达破坏之前，钢管提前屈服，并据此确定了钢管桩的承载力，文件经过中日双方的确认。但是在一九七八年六月，技术设计开始，在日本进行设计审查，日方的技术专家向中方提出一份“关于宝山钢厂钢管桩承载力问题”的备忘录要求中方确认并签字。其主要内容是试桩采取的壁厚为16mm，而设计壁厚为12.7

mm, 根据美国 Seed和Rease 理论, 所有钢管桩的承载力必须降低约30%, 从而, 桩的数量要增加30%左右, 我们经过仔细考虑, 对这个文件的确认就意味着向日本人多购30%的钢管桩, 起码多化五千万美元, 纯属浪费。因此, 这个字是不能签的。但是日本人的根据是美国Seed和 Rease 理论, 似乎无法动摇。技术谈判进行得十分紧张, 美国Seed和 Rease 微分方程是严密和无暇可击的, 但该理论在宝钢软土地基上的应用又如何呢? 在国外谈判时间紧迫, 我们日夜推敲终于发现了日本专家的诀窍。他们按日本填海造地的边界条件, 即软土以下是河卵石半支撑地基条件, 求出承载力与壁厚关系曲线; 而在上海, 基岩在300m深以下, 60m深全部是粘土, 钢桩完全依靠摩擦阻力支承, 摩擦桩的极限摩擦阻力与壁厚无关, 只与摩擦面积有关。中方指出了日本人的要害, 谈判的僵局打开了, 日本人处于被动局面, 最后终于承认了错误, 撤回了备忘录, 钢桩承载力维持原协议至今, 从而使我们节约了大量外汇。谈判期间, 双方都是就技术论技术, 谁也不谈经济二字, 但最后以经济问题结束。

其后在一些重要设备引进中, 发现质量缺陷, 如裂纹问题、变形问题等都运用结构理论赢得索赔, 保证了工程质量和施工进度。

二 结构理论的综合性与创造性

结构理论在学术上越高越细, 而在工程实践中越来越综合, 几乎没有一个问题纯粹是力学问题, 都有不同专业的交叉性质, 可以预计, 未来的结构理论将融合在各相邻专业中发挥其独特的作用。

今后将在沿海大量建厂, 软弱地基难以避免, 地基处理的各种方法和技术必然和工业生产要求紧密相连。宝钢地基处理技术是以满足高度自动化和连续生产工艺的变形要求为前提的。习惯上

按强度要求已远远不够了，因为任何一个环节的停产都有可能导致全厂的停产，全厂只要停产一天就损失利润达六百万元之多。

假定一项辅助炼钢的生产设备，某台制氧机空气分馏塔承受的静动荷载都不大，但却处于 -180°C 超低温条件下工作，结构和地基方面稍不小心，就会由于低温冻结引起设备倾斜，仅仅超过千分之一，设备立即减产或停产。制氧机也跟着减产或停产，炼钢、轧钢以及炼铁等一系列设备都将产生连锁反应，全厂面临停产危险。由此可见结构理论的应用必须结合生产工艺。

就土木工程方面，地上结构和地基基础的共同作用，桩一土的共同作用，地下水运动与土压力关系，机械设备和建筑物的共同作用等也都值得进行综合性研究。

由于混凝土现浇工艺的迅速发展，现代化施工机械的进步，混凝土由过去的干硬性向大流态转化，由向预制化发展又转向回现浇发展，要求结构理论解决混凝土管道输送力学、大体积混凝土及钢筋混凝土的热应力及湿度应力、接缝理论与裂缝控制理论等等。所以结构理论不仅为设计服务，还将为施工做出贡献。

如果说结构理论在地上结构中发展得相当成熟，那么在地下工程中却是起步阶段。不同人采用不同的计算方法，结构的投资差别达到50%以上，建设工期和劳动力消耗差别也相应很大。应当调整我们的科研和开发方向，在地下工程方面存在巨大的创造潜力。

三 运用结构理论处理施工环境中的“相邻影响”

近年来，新建厂矿企业、老厂改建、城市建设以及高层建筑勃起，出现了新的结构理论问题——“相邻影响”问题。新建筑物的开挖、打桩、降水都对相邻建筑产生沉降、位移、振动的影响，许多相邻工程产生裂缝、位移和塌方，还有许多地下管网、上下水道、通讯电缆、煤气管道都受到影响，甚至造成重大事

故，这方面问题随着建设的发展显得日益严重，宝钢一期工程三百吨氧气顶吹转炉投产后，在其一侧11m处建造负9m深的连铸工程，如何控制二期工程施工不影响一期生产，工程技术人员花了几年时间，最后采取一种新技术——地下连续墙与拉锚办法，耗费了千余万元施工费用，才确保了不产生有害的相邻影响。上海市有许多工程为此类问题而深感忧虑，目前多数是凭经验处理，结构理论尚不能发挥其应有的作用，希望注意这一具有十分现实意义的问题。

四 需要结构理论和工程实践之间的桥梁

近代计算技术的发展，可以解决大量的工程问题，数十数百数千个未知力的计算，只需要几分钟时间，计算的精确度越来越高，可以算到小数点以后许多位。但是，大量工程建设中的结构问题却仍然是半经验半理论地加以解决，什么原因呢？

因为许多结构理论研究只注意计算方法本身，忽略它和工程的紧密联系，很少去研究基本假定，计算模型是否接近实际，单纯地追求复杂性、精确性。认为塑性理论比弹性理论高，弹性理论比材料力学高，非线性比线性高，动态比静态高……等等，事实并非完全如此，若基本模型不当，任何复杂的运算，精确度再高，其结果仍会误差很大甚至谬误，给工程带来损失，产生了负作用。

某轧钢工程的屋盖产生了超规范允许裂缝宽度三倍的裂缝，经大量运算，其钢筋应力已超过了屈服点，决定拆除工程，由于不同意见的争论，工程停产了两年，实际上是裂缝计算方法尚不完善，给出的结果脱离实际，造成没有必要的损失。

宝钢于一九七九年十月发生了重大的桩基位移问题，引起国内外工程技术界的重视，许多结构工程、地基工程等方面专家献计献策。产生了许多理论分析模型，有材料力学方法，弹性力学