

起始扰动研究中,所需解决的问题是,如何计算起始扰动?如何合理匹配弹炮系统的结构参数,以使起始扰动最小?有限元法、子结构模态综合法、多体系统动力学、弹塑性力学、振动理论等大量的力学理论,是研究起始扰动不可缺少的理论工具。起始扰动问题中,还有大量的力学问题急待研究解决。如多管转管炮炮管旋转对火炮系统振动特性的影响,弹炮时变系统连发射击时的共振频率的计算等等。

传统的观念认为,弹丸自身缺陷是形成射弹散布的根源之一,总是不利因素。这些随机因素给发射装置作用一个能反映自身缺陷特性的激励。人们设想,若能设计这样一种发射装置,使它由上述激励所产生的响应恰能补偿或部分补偿由于弹丸缺陷而造成的弹道偏差,变不利因素为有利因素。这种设想,即是被动控制概念。被动控制不依赖任何外加能源,而是利用发射系统的自身反馈来实现控制。反馈是通过相互干

扰来传递的。但发射装置必须对弹丸缺陷的激励非常敏感,并要有足够高的自振频率,这是实现被动控制的必要条件。由于火箭发射装置,通常都能满足这一必要条件,故火箭发射系统,只要设计合理,就能实现被动控制,减小射弹散布。这方面的理论问题,已初步解决,但还未见有已实现被动控制的火箭发射系统的实体。由于普通火炮都较笨重,从而不可能满足实现被动控制的必要条件,所以普通火炮不可能采用被动控制的方案来减小射弹散布。

弹丸起始扰动问题中,弹丸起始扰动特别是弹丸膛内运动姿态的测试尚未解决。弹丸膛内运动姿态的测试,是国内外弹道学者和测试专家研究弹丸起始扰动的主攻方向之一。

(华东工学院芮筱萼,210014、  
中国兵工学会宗云青)

## 数值分析方法在混凝土工程中的发展

### ——国际计算工程科学会议和混凝土工程会议简介

#### 国际计算工程科学会议

1991年8月12日--16日在澳大利亚墨尔本举行是计算力学学科第3次大型国际性会议。会议组委会主席是美国乔治亚工学院 S. N. Atluri 教授,有26个国家和地区代表近200人出席会议。会议中心内容是计算机在计算工程科学和力学领域中的应用;数值方法、力学和近代技术最新进展。会议分下列专题进行学术交流:板壳结构(板壳单元、板和梁单元);结构力学(结构动力学);断裂力学;钢筋混凝土;固体力学(弹性问题、裂缝问题和塑性、粘弹性等);边界元;最优化;随机分析;流体力学(流体动力学和计算技术,多相流、可压缩流和一般粘流、非牛顿流体、液体和结构);网络形成和采用方法;计算机辅助工程;自适应单元和专家系统;接触;热传递和电磁学等。涉及领域之广,充分反映电子计算机在各学科中应用。这里,着重介绍我所涉及的两个领域。

1. 数值方法在钢筋混凝土构件及结构中应用 尽管混凝土技术已有上百年历史,但还是有一些尚未解决的问题。例如,对承受弯矩和剪力的梁,其设计方法一直是以大量实验数据作为依据。一直到1967年 D. Ngo 等人第一次用有限单元法分析了钢筋混凝土简支梁之后,数值分析方法在钢筋混凝土构件及结构中应用得以蓬勃发展。目前,数值分析的困难仍然是如何建立一个合理的数学模型来模拟开裂后混凝土的本构

关系,这个问题也是本次会议“钢筋混凝土”专题组中心议题。一位在德国的中国学者 Y. Y. Qian 在他的论文“钢筋混凝土结构非线性分析”中提出了在裂缝出现以后应该考虑混凝土受拉强度,而建立了一个修正拉伸裂缝模型。这个模型是建立在 Z. P. Bazant 和 S. S. Kin 1977年提出的未开裂混凝土弹塑性断裂模型基础上。利用这个修正模型进行数值分析表明,尽管混凝土拉伸强度对结构的极限破坏状态没有影响,但对结构使用荷载反应有一定影响,而且影响到数值迭代过程中的收敛速度和 CPU 时间。希腊的 A. Eleonas 等的论文“钢筋混凝土剪力墙非线性分析的数值方法”考虑了材料非线性特性、裂缝以后的混凝土特性和拉伸刚度的影响,对一幢16层高、有6道剪力墙的高层结构进行非线性分析,双轴应力应变关系是建立在等效单轴应变的正交半弹性表达式基础上。对整个结构建立数值分析的数学模型在国内未见公开报道,应该给予注意。葡萄牙 R. Bairro 等人论文“附加外部钢筋混凝土梁非线性分析”考虑了混凝土的非线性特性而提出防止结构破坏所需要的附加外部钢筋数量,并且和实验结果进行比较。建筑物由于抗震要求或设计和施工缺陷可能需要加固,目前国内抗震加固计算主要还是依靠实验数据,上述论文很值得借鉴。

2. 结构最优化动态 结构优化设计是把数学上最优化理论结合计算机技术应用于结构设计的一种新型

设计方法。它的出现,使设计者从被动的分析、检验,而进入主动的“设计”。建筑结构优化能缩短结构设计周期,减少建设中人力、物力和财力的投入,是一个热门的研究领域。从这次会议所提交的关于“最优化”11篇学术论文看,随着优化手段的发展,优化目标也在不断扩大,从最轻量化、最低造价到最佳结构构件布置、最优结构形状和最好受力状态等。有关“结构形状优化”论文占有4篇,日本学者 K. Nagabuchi 等的“利用高阶形状灵敏度系数的形状优化”颇有新意,把结构形状优化灵敏度分析通过结点灵敏度分析来实现。优点之一是利用灵敏度分析能缩短优化分析迭代过程中所需时间。作者提出了灵敏度系数的阶数越高,灵敏度分析的精确度越高观点。到底需要多高的灵敏度系数阶数能导致比较精确的结果是进一步研究的目标。葡萄牙学者 L. M. C. Simoes 等在“重力坝抗震形状优化”一文中也用到灵敏度分析方法。100米高、最小宽度为6米的重力坝在地震作用下,通过形状优化能使所需混凝土体积大大减少。值得一提的是,日本学者 Y. Hangai 和 Y. Kansai 在会上提出了结构形状优化两种数学模型:一种是满足位移场约束,另一种是满足应力场约束。这两种模型都是把位移(或应力)分成两部分:一部分是已知的,另一部分是未知的。给出的数值例子说明该文提出的两种模型的有效性。从这次会议可以看出,在结构形状优化设计中使用灵敏度分析是当今优化技术发展的主要趋势。

#### 国际混凝土工程会议

由美国混凝土学会、中国建筑学会、美国土木工程师协会等发起,于1991年9月18日至20日在中国南京举行。会议目的是交流混凝土工程领域的研究成果,并探讨发展趋向、联络感情和增进友谊。会议组织委员会主席是东南大学丁大钧教授。这次会议论文集精选了中国、日本、澳大利亚、加拿大、捷克和斯洛伐克、丹麦、希腊、伊朗、意大利、朝鲜、南非、瑞典、土耳其、英国、美国、苏联和南斯拉夫等国家327篇学术论文。这些论文覆盖了“材料特性”,“钢筋混凝土和预应力钢筋混凝土的强度”,“钢筋混凝土和预应力钢筋混凝土结构使用的可靠性和耐久性”,“结构设计和施工及进展”和“数值分析和力学分析”等领域的研究成果。仅“数

值分析和力学分析”的论文有82篇,占总论文数的1/4。中国学者的论文就有62篇。可见近几年数值方法和电子计算机在土木工程中应用在我国广泛开展。令人高兴,从事这方面工作的多是年青科技工作者。

材料模式作为钢筋混凝土非线性分析的最基本问题,它包括混凝土特性、钢筋特性、钢筋和混凝土之间的粘结滑移关系。后者是钢筋混凝土结构承载的基本前提,是钢筋混凝土结构理论中最重要的基本问题之一,在这次会议上理所当然受到重视。这里重点介绍数值方法在这个领域中的进展。D. Ngo 和 A. Seor. dilis C. 1967年在梁中裂缝研究逐步开展时,就提出必须要有一个反映结合面性能的定量公式。他们利用线弹性粘结连杆去模拟粘结性能。确定了粘结滑移影响构件性能的程度,对建立一个用于有限元分析的逼真的粘结应力—滑移关系式有一个很大的推动作用。我国在数值方法领域内进展起始于80年代,东南大学宋启根教授用有限元法探讨了钢筋混凝土粘结试件。从这次会议看出,中国在这方面的研究正努力朝着这个方向前进。清华大学康智明教授和他的研究生基于长期试验研究和有限元分析的结果在会上提出钢筋混凝土结构有限元分析的斜支柱粘结模型和离散裂缝模型。将界面上的切向粘结锚固作用和径向挤压作用综合考虑,反映了变形钢筋粘结锚固性能中最核心的问题——锥楔作用。中国建筑科学研究院徐有邻博士提出的数值计算方法可以全过程地求解满足粘结锚固基本方程和边界条件的6个基本变量,计算出加载和滑移曲线,从而实现计算机模拟拉拔试验。由于程序采用了非线性全过程的本构关系,计算机有能力描述粘结受力的下降段,比过去的数值方法有很大的改进。

值得强调的是陈惠法教授在他的综合报告“有限元法的现状和将来的发展”中提出混凝土数值分析的新方法——“有限块法(Finite Block Method)”。尽管这种方法还不够完善,但他认为用“有限块法”可以逼真地模拟混凝土开裂现象和开裂混凝土单元之间的内摩擦,把“有限块理论”作为摩擦材料极限分析计算机方法是未来的方向。这可能带来混凝土数值分析的新潮流。

(华侨大学土木系 王全凤,362011)

读者·作者·编者

本刊13卷3期(1991年)的《拉格朗日方程在机电系统中的应用》一文中,只刊登了力学系统和电路的比拟部分,原稿中还有拉格朗日方程部分。该文内容与国内外教科书中已有内容有所重复。这是我们工作

上的疏忽。感谢常州建筑职工大学陈永骏等读者的来函指正,谨向读者、作者致歉。

编者

力学与实践

• 79 •