

本文强调了随机振动问题，这些问题都可以通过单一的随机激励和响应予以表述。当然，实际系统都是空间分布的，而且实际的激励环境常常包括多个同时输入 [89]，或更一般地，包括一个时间变化的“随机域”。由分布激励统计量来预测分布响应统计量的二阶概率理论大大发展了。请见Crandall [16]，Lin [3] 和Bolotin [4] 的理论论述及参考文献目录。但是一般理论很少有实际应用，因为分布随机输入的充分表达是很难达到的，而且完整的分析趋向于繁琐和浪费时间，甚至对于简单的系统，例如绳或板都是如此。为了简化分析，通常假设激励集中于一点或在空间完全关联，将激励化为一维随机函数。在其它的极值，分布响应可以假定为空间不关联，因此在一点的响应可以表示为不关联分量的和（或为一个积分）。与随机激励的复杂系统的输入-输出问题相连的是重要的系统可靠性问题，这些问题要求同时考虑许多统计相关的响应量。这些问题和大量的其它问题，包括非高斯输入和非线性系统响应，还有待于随机振动理论的进一步发展。

参考文献（略）

译自：Vanmarcke, Erik H. (1979), Some recent developments in random vibration, Appl. Mech. Rev., **32**, 10: 1197—1202. (梁传印译 俞稼槃校)

水下弹塑性结构一些瞬态问题

D. Krajcinovic

结构与周围流体的相互作用，是声学、气弹性、船舶工程和海洋工程、反应堆工程等工程领域中理论上和实际上重要的现象。由于航空、航天工程上的要求，由于问题复杂性的限制，所以几乎作为惯例，把结构看作是弹性的。但是在某些应用中，一个浸没在流体中的结构，往往意外地受到强度非常高、持续时间非常短的荷载；在这种情况下有可能出现应力超过弹性极限的现象。确定这种结构的承载能力，如同确定残余（塑性）变形所引起的破坏一样，需要考虑结构的弹塑性响应。

浸没于传声介质中受动态加载圆柱壳的弹塑性响应，是一个十分复杂的现象。随时间变化的荷载、惯性力、流体阻力（径向压力）均引起壳中塑性应力区的出现、增长、移动、收缩、消失，而后又再出现。数学上，这类问题受壳的两个偏微分方程组的控制，一个是弹性区的偏微分方

程组，另一个是塑性区的偏微分方程组。波动方程描述流体（外部区域）。方程组由运动边界上的匹配条件来耦合，这个匹配过程进一步使问题复杂化。

用完全普通的解析方法解如此复杂的问题是根本不可能的。在早期发展阶段，是用纯数值解法——例如以有限差分法或有限元法为基础的通用计算机程序——解流体-结构相互作用问题。但是，用这种方法，价格过于昂贵，特别是当分析必须重复几次来寻求最佳设计时。

鉴于问题重要，而涉及水下动态加载结构弹塑性响应的文献却很缺，这反映了问题的复杂性。大部分文献不是涉及在真空中变形的理想刚塑性壳体，就是涉及浸没在流体中的弹性壳体。有一些关于动态塑性 [1—6] 及流体-结构相互作用 [7—10] 的综述性和有关科学技术发展动向的评述性文章。一般讲来，作者各不相同，

为了使问题能解,他们往往认为需要一定程度的近似。很遗憾,每种简化都限制了模型的有效范围。

有可能得到的动态塑性问题少量封闭形式解中的一种解的,是把材料描述成理想刚塑性的情况。但是在许多情况下,理想刚塑性理论并不能提供可靠的变形估计。即使作了大大的简化,例如,全部略去弹性变形,在圆柱壳情况下也未必能得到简单的结果。

承受动荷载的结构的弹塑性变形,无助于根据常用的解析方法求解。多次加载和卸载,以及由变形的弹性分量引起的弹塑性界面运动,甚至在简单的情况下也造成极大的问题。

许多作者[1]曾用弹塑性界面处的匹配模式论述了梁的问题。虽然这种方法在原理上似乎简单明了,但计算费劲,收敛既慢又不确定。这种方法的推广,使模态近似得到更加审慎的检验,并且得以确定最佳的近似。但是,流体的存在将要求大大修改模态近似方法。如果与技术有关的一些重大问题满意地得到了解决,那么,一些商业上现有的用于一般目的的程序(以有限元法为基础的有代表性),就可以用于真空中变形的弹塑性结构动态分析。此外,很自然,这些程序使用起来价格昂贵,因此不宜用于早期设计阶段。

包围着变形结构的流体的存在使问题大大复杂化。与周围传声流体相互作用的弹性壳体的动态响应,可由壳体偏微分方程组和流体的波动方程来描述。这些方程组通过界面匹配条件来耦合。有关这类问题的困难,已经作过讨论[7, 11, 12]。

在瞬态问题中,主要的困难是根据壳体-流体界面处的边界条件,解外部区域的波动方程。由于缺少一般情况下的严格的封闭形式解,所以强烈促使人们去寻求真实现象的大量近似。熟知的近似方法包括平面波近似[9],柱面波近似[9],双渐近线近似[9]和不可压缩流体近似。“活塞”理论(根据壳体边界-平面和柱面波模型的近似)在变形的早期阶段一般是精确的。用不可压缩流体模型得到对响应的后半部分有用的结果。

几位俄国人[7, 11, 13]不去修正或变换波动方程,而对流体速度势的拉普拉斯变换使用了

适当的近似。对函数褶积分得到封闭形式的结果就成为可能。因而他们得以对每种变形模式的径向压力求得近似的封闭形式解。他们也指出,所提出的模型包括平面波近似和不可压缩流体近似。Klosner[9]论证了这种方法和双渐近线近似法之间的联系。

应该指出,流体流动近似模型的正确选择,也取决于壳体变形模式的波长(加强肋的间隔及壳体的半径),取决于流体与壳体中的声速比。如[9]所指出的,每当壳体的变形是由它的无阻分量起主导作用时,一些近似方法,即平面波和柱面波模型,总会得出使人受骗的结果。这并不奇怪,因为按照平面反射模型,径向压力与壳体的径向变形速度成正比(实质上具有粘滞阻尼效应)。

分析真空中结构变形的动态塑性行为和流体-弹性问题是困难的,因此,流体所包围结构的弹塑性响应方面的工作报道得不多是不奇怪的。

位于不可压缩牛顿流体中的动态加载理想刚塑性梁和圆板(轴对称情况)的封闭形式分析解已经得到[14—17]。如果表明,流体阻力(所谓虚质量)的影响相当大。发现结构-流体系统的惯量的增加,是 $\alpha Y_f / (h Y_s)$ 的线性函数,这里 α 和 h 是结构的跨度和厚度; Y_f 和 Y_s 是流体和结构的质量密度。因此惯量的增加同时取决于密度和几何尺寸。

浸没在位势流体中并受轴对称内爆作用的无限长理想刚塑性圆柱壳的动态响应已经研究过[18—20]。对于圆壳外部位势方程的Neumann问题使用付里叶余弦变换,把附加(虚)质量确定为难于以封闭形式处理的积分形式。用渐近公式和Filon方法求得解。计算结果证明了流体阻力对塑性变形值的重要性。已经报道了一种适当的设想参数的研究[19]。模型由理想刚塑性壳体和位势(无粘性和不可压缩)流体组成,但最终位移取决于8个无量纲数。这样的复杂性表明了问题难度特大。

已经研究过传声介质所包围粘弹性球壳和塑性环的轴对称问题[21, 22]。浸没于无粘性可压缩流体中的粘弹性和粘塑性球壳转轴对称瞬态响应的更广泛的研究已有报道[23]。Duffey考虑了线性应变硬化,考虑了线性和非线性应变率

灵敏度(连同平面波近似法一起),考虑了粘弹性(Kelvin-Voight和Maxwell材料)。计算结果表明,峰值位移随应变硬化、应变率灵敏度和粘弹性性质显著地变化。

稍早一些,Testa和Bleich [24]求得了一种刚塑性浮箱(承受冲击波)的近似解,他们使用了一种改进的虚质量法。另一篇论文 [25]着重讨论了有关舰艇问题的解。

鉴于问题的复杂性,在研究相当一般的流体-结构相互作用的计算机编码方面加强活动是不可避免的,是合乎需要的。Geers的文章 [26]是一篇将离散元法运用到水下结构的优秀述评。他关于计算效率和各种方法适用范围(就其在规定频率范围的精度而言)的讨论特别有启发性。

在最近的第5届国际反应堆工程结构力学会议(SMIRT) [27]上,出现了几种相抗衡的方法就是很好的说明。这些方法的基础是Lagrange法, Euler法或准Euler法,以及对于流体-结构界面及自由面的不同处理。流体元已被加进SAP IV, Ansys和Nastran程序中。这些流体元是对无粘性流体,根据Navier-Stokes方程,假定流体元内压力场不变而得到的。

还出现了一些其他重要文章 [22, 27, 30-32]。此外,有限差分格式已用于反应堆外壳 [33]和管道分析 [34]。特征线法已用于解流

体输送管道的塑性变形问题 [35, 36]。

象有限元那样强有力的方法提供了消去所引进的简化的可能,从而有可能得到一个分析解。尽管如此,各种问题依旧存在。模拟一个大水池中的结构,即使感到兴趣的总是在结构方面,也意味着需要不成比例的大量流体元。这就必须引入在边界处不会反射波的特殊元。流体的可变形性引起网格的极大扭曲,需要不断重新分格(或使用欧拉表述法)。没有谈到气蚀问题。然而几乎没有疑问,关于浸没于流体中结构的弹塑性响应问题的研究成功,将在很大程度上取决于数值方法的进一步发展。当然这并不排除需要进一步的分析结果和实验数据。精心研究这类问题的参数,随后消去一些意义不大的参数,将会促进数值方法的发展。

参考文献(略)

译自:Krajcinovic, D. (1980), Some transient problems of submerged elasto-plastic structures, Shock Vib. Dig., 12, 1:15-19.

(刘宗贤 曹志远译 孟珊校)

海洋介质的物理化学流体力学 (I)

Г. В. Иваненков

近来研究海洋污染物质(以下简称污物)的输运问题具有重大的科学意义和实际意义。在这方面的许多实际问题中,根据各种不同污物源的数据来估计污物在不同海洋中的分布状况,并对其未来状况作出预报,这些问题的重要性无需多说。另一类重要问题是,怎样以最佳方式向海洋排放污物。例如,要确定杂质源在不同空间和时间的分布状况和可以允许的数量,在什么情况下以特定的输运过程和转化过程排放污物,对一定地区的有害后果在某种意义上为最小。用各种方法来防止海洋污染,用解胶剂、乳化剂和其他化学剂或生物剂来积极影响污物并估量这些方法的效果,也属于这类问题。还有一些非常现实的问题是研究污物对海洋,对海洋与大气边界,对海洋与固体表面边界等的生态学、化学和物理过程的影响。

所有这些问题都有必要建立海洋中污物的输运模型和转化模型。因而科研人员面临的问题非常复