

上海交通大學

八十七周年校庆学术报告会 论文摘要

工程力学专辑



1896—1983

上海交通大学
八十七周年校庆学术报告会论文摘要
工程力学专辑

编辑：上海交通大学科技交流室
出版：江苏省武进县村前印刷厂
印刷：江苏省武进县村前印刷厂

一九八三年四月出版
编号：82650

18.132

工程力学专辑

目 录

三维机翼采用矩形涡格法计算的研究	杜振凡 吴 刚(1)
变后掠飞机在变后掠过程中的动态响应	严 明等(4)
粘性汇流的不稳定理论—台风发生的自然模型	杨文熊(5)
自然系统的科学原理(I)	杨文熊(7)
湍流边界层流动噪声的物理机制	朱月锐 吴君朋(10)
带轴向流的二相对旋转锥形杯之间流体流动的稳定性分析	朱月锐(11)
流体流过矩形空腔引起的噪声的试验研究	高卫国、朱月锐(11)
磁致伸缩激振空化剥蚀实验研究	韩企平等(12)
三维裂纹应力强度因子的一个近似计算方法	罗海安(12)
边界积分方程—边界元法在三维裂纹问题中的应用	孙和成 张永元(13)
宽板受弯曲载荷作用下表面裂纹扩展研究	俞仁基等(16)
多孔边裂纹构件的分析方法与计算图谱	张永元 赵 毅(18)
计算机辅助疲劳裂纹扩展的分析方法	陆逸驰、张永元(22)
关于压缩裂纹若干问题的讨论	罗钢明 张永元(26)
权函数在工程断裂分析中的应用	张永元(29)
平面等参奇性元在复合型裂纹问题中的应用总结	张永元 洪烈君(32)
复合材料层压板层间应力的一个分析解	王人杰、罗祖道(36)
有纤维增强双层圆柱壳体的层间应力分析	李思简 罗祖道等(40)
考虑胶接层的对称层压板的层间应力分析	李思简 茅新伟 吴雅琴(43)
轴对称载荷下环形厚板的一个精确解	孙全新 罗祖道(47)
轴对称复合挤压问题上限解	沈惠中 金永杰(49)
键槽轴扭转的极限分析	沃国伟 金永杰 冯 伟(53)
应力非均匀分布对流动极限的影响	沃国伟 金永杰 俞 虹(57)
修正的割线牛顿法解非线性问题	章 林(61)
高层建筑结构的动力分析	吴连元、沈为平(64)
卫星星载仪器的碟形光学镜子的设计与计算	吴连元 刘正兴等(67)
用有限单元法分析加筋板壳的稳定性	刘正兴等(69)
组合式压力容器的应力分析	刘正兴(73)
锅炉管板安全性评价	包于浚(76)
试评物理监测法在 COD、 J_{Ic} 等测定中的地位	毛增滇 夏有为 包于浚等(78)

残余应力对构件随机疲劳寿命的影响	胡善荣 (80)
不同失效率或可靠度的构件随机疲劳寿命	胡善荣 (81)
钻盲孔法测残余应力贴片位置偏差的修正	毛增滇 邵佳敏 包于浚 (82)
声发射在“410”高压气瓶中试验研究	包于浚 毛增滇 夏有为等 (86)
声发射在材料屈服特性中应用	包于浚 毛增滇等 (89)
应用切割法修正容器钢套固紧力公式	洪水棕 陈金水等 (92)
论述非电量电测技术在生物力学中应用	洪水棕 吴振坤 (96)
用激光全息干涉法对人体颅骨的力学分析	李邦义等 (98)
金属基复合板拉伸试验技术中的两个问题	洪水棕 吴振坤等 (101)
42-160柴油机连杆断裂的三维光弹性应力分析	许本安、吴孟伟 韩菊林 (104)
人体足第Ⅱ跖骨留除问题的力学研究	洪水棕等 (108)
高层建筑剪力墙平面光弹性应力分析	李秀治、韩菊林等 (111)
颅骨静荷对压三维光弹性应力分析	李秀治等 (112)
人体颅骨的力学性质研究	李秀治 韩菊林等 (113)
CPG-22高喷消防车结构强度分析	孙力行等 (114)
焊接高压气瓶安全性分析研究	夏有为等 (116)
高压气瓶安全性评价的实验研究—水压爆破、电测应力及声发射监测	夏有为等 (119)
关于宏观变形固体力学中内力与内力功概念的探讨	李思简 金永杰 (121)
变质量非完整系统的推广的Kane方程	戈正铭、程煜禾 (123)
判别函数定号性和变号性的几个定理及其对睡陀螺运动条件稳定性的应用	戈正铭 (126)
一些非线性振动系统周期解的数值计算	凌复华 (129)
周期系数线性常微分方程组稳定域边界的数值计算	凌复华 (130)
氧气转炉的扭转振动	凌复华 (131)
随机参数激励下流体中悬索的稳定性和响应	陈文良 (132)
磨床振动分析中集总参数法的运用	陈文良 (134)
661P型客车振动分析	周鉴如等 (136)
转炉重量、重心、倾动力矩与转动惯量计算	凌复华 (137)
自由下落猫的转体运动	刘延柱 (138)
带偏心飞轮的弹性结构卫星的姿态运动	杨海兴 刘延柱 (140)
带挠性杆自旋卫星的姿态稳定性	忻鼎亮、刘延柱 (141)
带液体阻尼环自旋卫星的章动衰减	洪嘉振 (142)
振动基座上动力调谐陀螺仪的运动	刘延柱 杨海兴 (143)
略谈目前理论力学教学中的几个问题	费伟智 (144)
谈谈理论力学教学中由知识到能力的转化	包宏稼 (146)

三维机翼采用矩形涡格法计算的研究

工程力学系 杜振凡 吴 刚

一、概 述

本文分别用矩形格网法与等弦长百分比格网法对三角形翼、箭形翼及后掠翼……等加以计算和分析,并将两种不同格网方法的结果,与理论值进行了比较。从中看到,二种方法的结果极为接近,二者升力与压力中心的最大相对误差仅为0.59%和0.57%。表明矩形涡格法在解决实际问题中完全可以采用。

所谓矩形涡格法就是在机翼的投影平面上,顺来流方向与垂直来流方向按一定规律剖分成许多矩形网格,为避免翼前缘压强跳动,把前缘第一块格网化为三角形格网处理。用有限基本介方法,在每一块格网上布置未知强度的涡环。利用物面边界条件与库塔条件列出线性代数方程组,解此方程组得到在给定来流与攻角的所有格网上的涡环强度。再对得到的涡强作计算后,得出各格网上的负荷系数,由此可确定作用在机翼上的升力、力矩、压力中心……等。

有限基本介方法中,一个重要的环节就是格网的划分。前人所作的大量工作表明,计算结果与所采用的格网形式有密切的关系。如格网划分不当,将导致计算失败。而工程中的某些问题,如果采用矩形格网,将使几何处理更为方便、计算量大为减少,对于计算中的一些结果也易于校核。但对矩形格网法,目前在国内、外尚未见到有成功的资料发表。基于此,本文用矩形格网法与等弦长百分比法对有代表意义的三角翼、箭形翼和后掠翼进行了计算与比较。本文采用的矩形涡格法,避免了别人采用矩形涡格法常发生的翼表面压强分布的跳动问题。

二、矩形涡格法的计算模型与程序框图

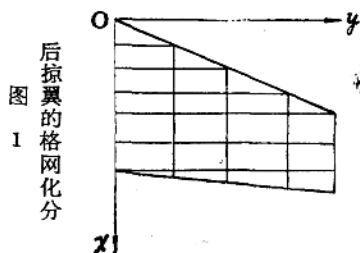


图 1
后掠翼的格网划分

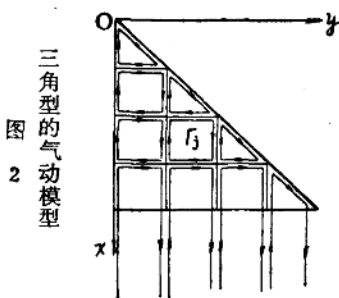


图 2
三角形的气动模型

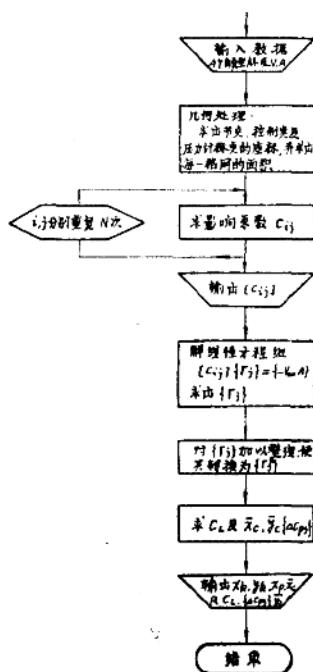


图 3
程序框图

三、计算结果与分析

1. 气动数据表

1°三角形翼 ($\lambda = 6.94$, $\eta = 0$, $x_{0.25} = 66.6^\circ$)

名称 \ 科目 结果	C_L			$\bar{x}_c$	$\bar{y}_c$
	3°	5°	8°		
矩 形	0.2225	0.3709	0.5950	0.5415	0.3858
等 弦 长	0.2224	0.3707	0.5947	0.5438	0.3868
二者误差	0.045%	0.054%	0.050%	0.423%	0.259%
理 论 值	0.2265	0.3775	0.6056	/	/

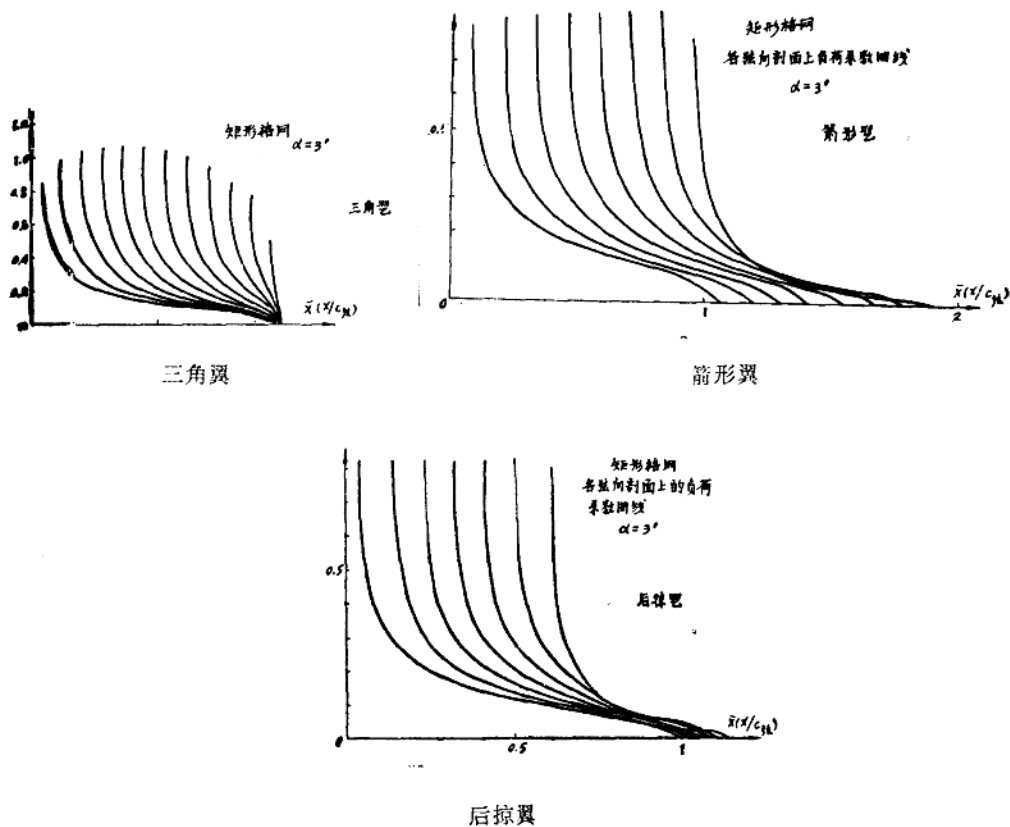
2°箭形翼 ($\lambda = 3.46$, $\eta = 1$, $x_{0.25} = 60.0^\circ$)

名称 \ 科目 结果	C_L			$\bar{x}_c$	$\bar{y}_c$
	3°	5°	8°		
矩 形	0.1747	0.2911	0.4670	0.6940	0.4619
等 弦 长	0.1742	0.2904	0.4658	0.6939	0.4611
二者误差	0.287%	0.241%	0.258%	0.014%	0.173%
理 论 值	0.1698	0.2830	0.4540	/	/

3°后掠翼 ($\lambda = 3$, $\eta = 0.5$, $x_{0.25} = 64.98^\circ$)

名称 \ 科目 结果	C_L			$\bar{x}_c$	$\bar{y}_c$
	3°	5°	8°		
矩 形	0.1731	0.2884	0.4627	0.47575	0.4455
等 弦 长	0.1741	0.2901	0.4655	0.47845	0.4472
二者误差	0.574%	0.568%	0.602%	0.564%	0.380%
理 论 值	0.1705	0.2842	0.4560	/	/

2. 不同翼剖面上的负荷(ΔC_p)分布曲线(矩形格网法)



3. 结论

从上三种翼型的计算结果表明, 无论是总的气动特性还是翼剖面压强分布, 矩形网格法与等弦长比法二者结果几乎一致, 都满足误差要求。其次, 在 $x-\Delta C_p$ 图中, 可以看到负荷分布曲线是光顺的、合理的、没有跳动, 说明本文的几何处理方法是成功的。

(全文未发表)

变后掠飞机在变后掠过程中的动态响应

工程力学系 严 明 邱传仁 周文伯 孙祥海 严 震

目前, 世界各国对变后掠翼飞机进行了广泛的理论和实验研究, 以估价机翼的变掠过程对整机的空气动力学性能, 以及由此而来的对飞机稳定性和操纵性的影响。

本文从数值计算的角度, 提出了完整的从气动力计算直至航迹计算的变后掠飞机在变后掠过程中的动态响应的求解方法。

在气动力计算中, 运用有限基本解的定常薄翼涡格法和时间历程涡格法对变后掠过程中飞机的准定常气动力和非定常气动力进行数值计算。全面地研究了气动力“瞬态反应”对整机气动力和响应的影响。

在飞行力学方程的推导中, 运用了变组成结构的质点系动力学建立了完整的体轴系方程。对飞机的变掠纵向运动有:

$$\begin{cases} F_x = m\dot{V}_x - s_y \dot{\omega}_z - mV_y \omega_z - s_x \omega_z^2 - 2\dot{s}_y \omega_z + \ddot{s}_x \\ F_y = m\dot{V}_y + s_x \dot{\omega}_z + mV_x \omega_z - s_y \omega_z^2 + 2\dot{s}_x \omega_z + \ddot{s}_y \\ M_x = -S_y \dot{V}_x + S_x \dot{V}_y + I_x \dot{\omega}_z + S_x V_y \omega_z + S_y V_x \omega_z + \dot{I}_x \omega_z + 2[-I_{1xz} \dot{\omega}_{1x} - I_{1yz} \dot{\omega}_{1y} + I_{1x} \dot{\omega}_{1z} \\ - \dot{I}_{1xz} \omega_{1x} - \dot{I}_{1yz} \omega_{1y} + \dot{I}_{1x} \omega_{1z} + \frac{1}{m_1}(S_{1x} \ddot{S}_{1y} - S_{1y} \ddot{S}_{1x})] \end{cases}$$

最后采用“时间进程法”进行气动力和响应的交叉求解, 得到整个变后掠过程所有的气动力参数和飞行力学参数。

通过上述方法能满意地对变后掠的各种因素和全过程进行研究和分析。本文最后给出了算例和响应分析, 这些结果对变后掠飞机的飞行稳定性, 机动性和低空变掠安全性的研究都是很必要的。

计算结果表明, 变后掠动态响应主要取决于变掠时整机气动力的变化, 在变掠过程中, 操舵反应是必要的。在后掠角逐渐增大时, 如果飞行员不注意飞机对地面的垂直下沉速度, 飞机的高度损失将迅速达到几百米, 这对低空变掠飞行是危险的。但是如果考虑了飞行员的偏舵反应, 那末飞机的攻角就将增大, 在这种情况下, 变掠的时间缩短到10秒也几乎不扰乱飞机的飞行轨迹。

研究表明, 良好的气动外形将减少后掠角增大时整机压力中心的后移, 这是变后掠机能实际使用的先决条件。

最后研究证明, 在通常的变掠速度范围内, 变后掠动态响应主要表现为较长周期的沉浮, 不产生能与非定常气动力“过渡过程”时间尺度相对应的剧烈的运动参数和载荷的变化, 在这种情况下, 非定常气动力的作用较小, 而且它与翼形变化和响应变化之间的滞后相位差不会产生较大的互相耦合的影响。所以, 在飞机的变后掠动态响应的计算中采用准定常气动力的假设是可取的, 可以得到足够精确的结果。这个结论对计算的简化和复杂飞行条件下响应的计算有较大的意义。

(全文未发表)

粘性汇流的不稳定理论—台风发生的自然模型

工程力学系 杨文熊

台风是危害人民生命破坏财物的强大风暴。亚洲及太平洋地区的国家如中国、美国、日本和菲列宾等深受其影响。研究台风尤其是对台风发生的机制问题是刻不容缓的。本文应用流体力学中粘性汇流内在不稳定理论试以建立台风发生的自然模型和试验装置探讨台风发生的自然本质。另外,用汇流不稳定理论计算了发生台风的最小临界力学参数,这些数据建议有关部门进行实地考察。

一、历史的简单叙述

各国气象人士都非常关心台风的产生,性质和消亡等重大问题。对台风的起源机制尤为关注但众说纷云。这里归纳大致有以下几种学说:锋面说^[1], Reihl 的“发动机”说^[2], Sawyer 的涡度判别说^[3], 正野的热力学和力学的混合说^[4], 第二类条件稳定说^[5]以及最近提出的热带辐合和热带波说^[6]等等。在实验技术上也做了不少的工作如美籍中国学者张捷迁等人的“人工台风模型”^[7]以模拟 Rossby, Ekman 和 Prandtl 数。

二、台风发生的流体动力学机理和计算发生的条件

台风的生成应该是属于流体力学范畴内的问题。它是粘性汇流流动达到一定的临界雷诺数后自动地生成旋涡的主要本质。70年代末曾研究关于粘性汇流旋涡发生的实验和基本理论^{[8],[9]}。自然界的台风,龙卷风暴产生的机理也是一种大尺度的汇流旋涡。为了证明相同的本质,作者改进了对 Sibulkin^[10], Kelly^[11]等人的实验装置取得了定量数据。从这些数据经过无量纲化后的雷诺数是:

$$Rec = \frac{Q}{\nu H} = 25.7^{[8]}, \quad (1)$$

从理论上分析不稳定性原理得出产生旋涡的临界雷诺数是

$$Rec = 8\pi + \pi \lambda^2 r^{2(9)} \quad (2)$$

上二式中 Q 是汇入的总流量, ν 是介质的分子粘性, H 是介质的水平面高度, λ 是轴向波数, r 是发生旋涡的半径。由于轴对称,又在 r 较小的情况下(2)可近似地写成:

$$Rec \sim 8\pi = 25.1 \quad (3)$$

(3)是非常接近于(1)的。

对于台风,通常在热带附近的洋面上当夏秋二季太阳日照强烈局部洋面上蒸发大量的水汽,温度上升,气压下降因而周围空气一定要补充进来这时就形成了汇合流动(辐合)此在流

体力学中称为“汇流”。从理论分析知，汇流在达到(2)的条件下就会自然产生切向流动而形成旋转流，产生了涡量。为了验证自然界存在这种内在的不稳定流动，这里用光滑的水柱垂直地进入平静的水面作发生旋涡的直观显示(图1)。因为水柱垂直注入水面后由于水柱对介质有强烈的卷吸(Entrainment)周围介质作用于是生成了强大的旋涡。图1用二张照片说明在短时间内水流旋转的证据。

现在设想把图1的位置倒过来(转180°)观察，水平面以下的卷吸流无疑是热带附近洋面上的辐合流动而产生旋转，二者都是自然生成的旋转，因此模拟台风不需要也不应人工加旋。

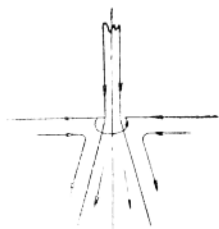
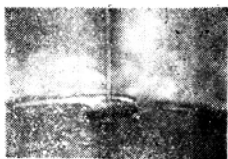
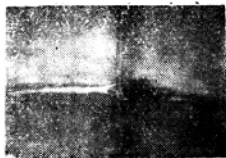


图4



图片一
海绵绕水柱的位置



图片二
海绵的另一位置

到目前为止，还没有人提出过在什么条件下台风生成的具体数据。为此，这里根据径向临介雷诺数条件初步计算出生成台风需要的参数。根据(3)，台风也应该是

$$\frac{Q}{\nu H} > 8\pi \tag{5}$$

但是 ν 必须取水平旋涡粘性系数，其有效值按 Barientos 的建议取 $\nu_v = 1.5 \times 10^4$ 米²/秒^[12]，如取最强的流入辐合出现在 $H = 1000$ 米^[13]，那么产生台风的流量至少是

$$Q > 8\pi \nu_v H = 3.80 \times 10^8 \text{ 米}^3/\text{秒} \tag{6}$$

而在离辐合中心处 r 的风速也至少是下面和表中所表示的：

$$U_r > \frac{Q}{2\pi r H} = \nu \left(\frac{\nu_v}{r} \right) \tag{7}$$

表一：半径与风速的关系

(r 仟米)	60	50	40	30	20	10
U_r (米/秒)	>1.0	>1.2	>1.5	>2.0	>3.0	>6.0

从这个表中看到在半径60公里处要生成一个台风至少需要辐向风速 1 米/秒；30公里处是2.0米/秒，其总流量 ($H = 1$ 公里高) 则至少是接近 4 亿立方米每秒。看来这些力学参数似乎是合理的，建议有关部门(如国际台风业务试验中心等)检测之。当然这仅仅是粗糙的估计因为我们对 ν 值知道得不精确，还有其他如温差，柯氏力系数等影响需要修正。在修正后可以期望在修正的基础上得出满意的结果。
(全文未发表)

自然系统的科学原理 I

工程力学系 杨文能

本文根据自然界存在的系统, 得出关于自然系统都具有物质(质量和能量)交换而成为开放系统的特徵。从开放系统的规律可以正确地建立和确定热力学第一定律在开放系统中的表示式子, 其中确定了质—能变换系数 $\mu = (\frac{f}{2} + 1)RT$ 。另外, 还得出了在特殊情况下的系列结论。最后还论证了宇宙空间和时间都具有无限性的特徵。

一、开放系统定律的建立

在自然界中所有的系统都是按开放的形式存在着。例如有机界中的细胞, 动植物的体系不断地与外界进行养料和废物的交换以维持体系的生存。无机界中从物质结构的基本粒子到我们居住的地球, 其他行星和恒星等天体和星系都与周围环境进行着物质的交换。根据这个普遍的规律, 我们有可能建立一个有关于开放系统的定律:

定律 I: 任何一个自然系统必然与周围环境进行能量和质量的物质交换。停止交换是暂时的瞬时的。

二、开放系统中的热力学第一定律

人们为了研究特定的场合一般都要假定热力学系统处在封闭的或孤立系统中, 这显然是人为的。由于科学的发展, 尤其是现代提出生物力学等那种传统的封闭系统热力学概念已明显的不适用后研究开放系统的热力学定律已是燃眉之急^[1]。这里根据定律 I 的原理建立了开放系统中的热力学第一定律的确定形式。

设有一热力学系统, 它不仅与外界有热量的交换而且还有质量的交换(图一)。设环境加入的热量和质量各为 dQ_1 , dM_1 , 系统也向环境输出 dQ_2 , dM_2 , 则系统增加 $dQ = dQ_1 - dQ_2$, $dM = dM_1 - dM_2$ 。为方便起见环境和系统的介质是相同的。所以

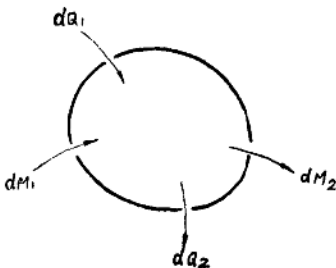


图 1

$$\mu dM + dQ = dU_0 + pdv. \quad (1)$$

式中 U_0 是开放式内能 μ 是质—能变换系数, 量纲是 $\left[\frac{m}{sec}\right]^2$ 。为了确定 μ , 我们仍采用一般的理想气体模型即

$$U_0 = \frac{f}{2} MRT \quad (2)$$

$$PV = MRT \quad (3)$$

(2)是能量均分定理 (Theorem of the Equipartition of Energy)^[2] 规定的内能, f 是分子的总自由度, M 是质量; (3)是开放系统的状态方程, R 是气体常数。从(2)代入(1)后便得出以下方程:

$$\mu dM + dQ = \omega dT + \frac{f}{2} RT dM + P dv \quad (4)$$

再对(3)微分並写成与(4)相同的形式:

$$\left(\frac{f}{2} + 1\right) RT dM + RM + \omega dT - v dp = C_v dT + \frac{f}{2} RT dM + p dv \quad (5)$$

由于(4)与(5)应是等价的, 则求得

$$\mu = \left(\frac{f}{2} + 1\right) RT \quad (6)$$

$$dQ = (RM + C_v) dT - V dP \quad (7)$$

式中 C_v 是开放系统中的定容比热, 且 $C_v = \frac{f}{2} MR$, 因此:

$$\left(\frac{f}{2} + 1\right) RT dM + dQ = dU_0 + p dv \quad (8)$$

这就是开放系统中的热力学第一定律。按等压比热定义则

$$C_p - C_v = MR \quad (9)$$

三、开放系统中绝热定律

处理一特殊系统是有用的即 $dQ \approx 0$, 则由(8)得出

$$\left(\frac{f}{2} + 1\right) RT dM = dU_0 + p dv \quad (10)$$

积分上式可得 $PV^\gamma = CM^\gamma$; $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ 。倘若是在封闭系中, $PV^\gamma = \text{常数}$, 这是常用的。然而

当 $M \neq \text{常数}$ 时, 如定义 $\rho = \frac{M}{V}$, 则

$$P = C\rho^\gamma \quad (11)$$

大家都知道这是在声传播时声速 $a^2 = \gamma \frac{P}{\rho}$ 所要用到(11)的。这可以看到声传播的机制是空气

分子团是近似绝热的开放系统。声波是纵波(疏密相间)进行传播。若系统绝热又不作功则

$$RTdM = C_p dT \quad (12)$$

$$\text{积分后得: } T = T_0 \left(\frac{M}{M_0} \right)^{2/1} \quad (13)$$

其中 T_0 和 M_0 是初始温度和质量。(13)能粗略地预示天体演化的规律:天体由引力堆积的质量一定要引起天体内部温度的升高。当 M 足够大时可能使天体内部产生核聚变的温度,大质量的恒星的核聚变就是由此而来,这个结论期望天文学家去证实,而恒星温度的升高当然还有一些放射性元素衰变时放出的能量^[3]。

四、宇宙空间的无限性和时间的双重无限特徵

根据定律 I, 地球必然与周围的环境进物质交换, 这意味着除地球本身还有包含太阳系的物质世界。太阳系又与周围的银河系中进行物质交换, 这也意味着存在银河系的物质世界……从六十年代起又发现了离地球100—150亿光年的类星体物质世界, 它们是远离总星系以外的物质世界。由此看来宇宙空间随着人类科学的发展, 不断观察到更遥远的世界, 这是因为定律 I, 因此 $S_L = \infty$ 。

进一步, 我们考察系统之间进行物质交换的速度为 U_{ij} , 这个速度根据狭义相对论原是有限值的^[4],

$$\beta = \left[1 - \left(\frac{U_{ij}}{C} \right)^2 \right]^{1/2} \geq 0 \quad (14)$$

式中 C 是光速(而 $U_{ij} \leq C$); i, j 是指任意的二个开放系统。现设一个观察者他不论从什么时间 t , 也不论站在什么系统中开始计算本系统某物质与邻近系统进行交换随之更遥远的系统进行交换一直与具有度规 S_L 进行交换所需要的时间应是:

$$T = \left(t + \frac{S_L}{U_{ij}} \right) \Big|_{S_L \rightarrow \infty} = -\infty \quad (15)$$

反之, 也有一观察者在他所在的系统计算不论从那无限远系统 $S'_L = \infty$ 经过系统间交换而达到他的系统的某物质所需要的时间应是:

$$T' = 0 - \left(t' + \frac{S'_L}{U'_{ij}} \right) \Big|_{S'_L \rightarrow \infty} = -\infty \quad (16)$$

式中 t' 是那物质到达该系统后直到观察者开始计算时间的那一段时间。若把(15)和(16)联系起来, 时间是有 $-\infty$ 和 $+\infty$ 的双重特性。

时间空间的无限特性这个问题曾引起了很多人的关心。如果从系统是开放的基本定律去讨论和证明这个问题是不难得出它们都是无穷的结论。这对自然科学, 人的世界观都有影响的。开放系统不但有这种特性, 它还有它内在的另几个规律, 在有机会时再进行讨论。

(全文未发表)

湍流边界层流动噪声的物理机制

工程力学系 朱月锐 吴君朋

本文从湍流边界层边界上大尺度旋涡现象，湍流边界层层流缓冲区内半周期性猝发的大尺度旋涡现象以及整个湍流边界层内涡量转移的小尺度旋涡运动——涡量场等湍流边界层的基本物理特征出发，根据Powell的“涡音理论”，揭示出湍流边界层，由于涡量转移和涡量与边界相互作用而引起如下的基本偶极子音及湍流边界层噪声的基本物理机制。

1. 湍流边界层内体积分布的涡量运动与固体边界相互作用引起的体积分布偶极子音辐射；
2. 湍流边界层内体积分布的涡量运动（包括强度或面积的变化）所引起的体积分布四极子音；
3. 湍流边界层边界上表面分布的涡量运动所引起的表面分布的偶极子音辐射；
4. 由于湍流边界层边界的可穿透性及边界由于垂直于本身表面的运动所引起的表面分布单极子音辐射；
5. 湍流边界层边界上大尺度旋涡的间歇现象及层流缓冲区内半周期性猝发的大尺度旋涡现象所引起的偶极子音辐射。

上述五部份噪声源，当讨论远场声辐射时，第二部份体积分布四极子音可忽略，以及当边界是不可穿透和刚性固定不动时，第四部份单极子音辐射不存在，这就得出湍流边界层噪声是一基本偶极子音辐射的重要特征。

（全文未发表）

带轴向流的二相对旋转锥形杯 之间流体流动的稳定性分析

工程力学系 朱月锐

我们应用摄动理论的边界摄动方法，已获得了带轴向流的二相对旋转锥形杯之间流动的渐近分析解。本文就是以这一渐近分析解作为基本解，采用窄带稳定性理论证明了带轴向流二相对旋转柱形杯和带轴向流二相对旋转锥形杯之间的流体流动稳定性。

(全文未发表)

流体流过矩形空腔引起的噪声的试验研究

工程力学系 高卫国 朱月锐

本文主要叙述在低速情况下(水速: $1 \sim 8 \text{ m/s}$), 流体流过矩形空腔引起的声振动的实验研究。并与国外学者所作的气体流过矩形空腔引起的声振动的实验研究进行比较。取得了进一步研究水下航行体的空腔流体动力噪声的必要数据。

从试验中, 我们得到了如下几点结论: 1. 空腔噪声由离散成份和宽带成份所组成。

2. Strouhal 数($s = \frac{fL}{U}$)和Re 数成一函数关系。Strouhal 数随 Re 数的增加而减少。3. 噪声随流速的增大而增大。4. 噪声随深长比 D/L 的增大而减小。

(全文未发表)

磁致伸缩激振空化剥蚀实验研究

工程力学系 韩企平 朱世权 茅春浦

空化剥蚀是物体在高速水流中常见的物理现象,对于船用螺旋桨,水力机械以及水利设施的结构材料有剥蚀破坏作用。

利用磁致伸缩效应以产生振动型空化来模拟空化剥蚀,具有快速易行的优点,对于变温变压,含泥沙介质等工况犹有独到之处。国外已将此种装置列为材料抗空蚀性能的标准试验设备,国内仅有少数单位在着手进行,但历来有关此种装置的具体细节及如何采集数据无甚报导。

本文介绍我校研制成功的磁致伸缩剥蚀装置及摸索出的具体实验方法。通过几种典型材料的实验曲线证明能够反映各种材料的剥蚀特征和抗空蚀能力的顺序。本装置性能与国外的标准装置大致相当。

通过对船厂,水利及工程部门委托的各种材料抗空蚀性能测定提供了有价值的实验数据。分析各种剥蚀图谱,将有助于探索空化剥蚀的机理。

(全文未发表)

三维裂纹应力强度因子的一个近似计算方法

工程力学系 罗海安

本文提出了一个计算三维裂纹应力强度因子的近似方法。它是基于弹性力学的变化原理和罗祖道关于三维裂纹问题的二维化切片方法而发展建立的。文中推导了两个变化方程——关于裂纹面周界几何参数的变分方程和在裂纹面周界不变的条件下关于裂纹面张开位移的变分方程。同时文中还引进了一种特殊形式的三维裂纹面张开位移的 Green 函数,它是由相应二维切片的裂纹面张开位移函数空间 $W(2)$ 中的基向量 $W(2)q$ 线性组合而成。通过这种 Green 函数和在裂纹面周界不变的条件下关于裂纹面张开位移的变分方程,我们就可利用已有的二维裂纹问题的解来求得裂纹面周界上应力强度因子的相对分布曲线。借助于裂纹面周界几何参数的变化方程与弹性力学的守恒积分之间的关系,文中进一步建立了三维裂纹的能量释放率与应力强度因子的联系,从而确定三维应力强度因子的定值分布。文中还计算了几个实例,结果表明这一方法具有相当的精度和较广泛的适应性。

(全文未发表)

边界积分方程—边界元法在三维裂纹问题中的应用

材料科学与工程系 孙和成 工程力学系 张永元

引言

边界积分方程—边界元法(简称BIE法)是近年来迅速发展起来的数值分析方法,在应用力学的各个领域得到了成功的应用^{[1][2]}。在三维裂纹问题中,用其它数值分析方法(如有限元法),由于需要对构件内部进行离散,遇到了要求计算机容量大和计算时间长的困难,于是,人们开始了对BIE法的探索。T. A. Cruse等人最早用第一代边界元进行三维断裂工程分析^{[3]-[6]}, J. Heliot和R. C. Labbens等人则把第二代边界元结合权函数用于三维裂纹问题的研究^{[7]-[10]}。研究表明, BIE法与FE法或其它数值分析方法相比较具有几个明显的优点:(1)仅离散边界表面;(2)由于引进奇异性精确解,其边界面可以用较少的自由度模拟;(3)对高应力梯度和无限域问题是很有效的;(4)推算 K_I 值的张开位移可直接在边界面上求得,而不用求构件内部的未知解。换句话说, BIE法可以减少问题的自由度数和维数,提高解的精度。本文是用BIE法在国产TQ-16型机上进行三维裂纹问题分析的探索。作为初步尝试,编制了第一代边界元—三角形单元的计算机分析程序,对一个具有内表面闭合型半椭圆裂纹的内压圆筒,进行了 K_I 值的计算。计算表明: BIE法对三维裂纹问题的分析是十分有效的,可以用较粗糙的网格得到较为精确的结果,对于不是十分复杂的问题,能在容量不大的国产机上进行计算。

一、基本方程

边界积分方程建立了边界力矢量 $t_i(Q)$ 与边界位移矢量 $u_i(Q)$ 之间的关系

$$C_{ij}u_j(P) + \int_S T_{ij}(P, Q)u_j(Q)ds(Q) = \int_S u_{ji}(P, Q)t_j(Q)ds(Q) \quad (1)$$

式(1)中边界 S 上的点用 $P(x)$ 和 $Q(x)$ 表示, x 为具有坐标 (x_1, x_2, x_3) 的一点。二阶张量核是由无限体中点载荷问题的Kelvin基本解中的力矢量 $t_i(Q)$ 和位移矢量 $u_i(Q)$ 导得的,即

$$T_{ij} = -\frac{k}{4\pi} \left(\frac{1}{r^2} \right) \left[\frac{\partial r}{\partial n} \left(\delta_{ij} + \frac{3}{1-2\nu} r_{,i}r_{,j} \right) - n_i r_{,j} + n_j r_{,i} \right] \quad (2)$$

$$U_{ij} = \frac{1}{4\pi\mu} \left(\frac{1}{r} \right) \left[\frac{3-4\nu}{4(1-\nu)} \delta_{ij} + \frac{1}{4(1-\nu)} r_{,i}r_{,j} \right] \quad (3)$$