

## 13. 电子器件和机电装置的力学

首席作者 F.C. Moon

(Cornell 大学理论和应用力学系)

W. Chen 提供对初稿的审阅意见.

**提要** 电磁材料效应和电磁力跟应力、变形及动力的相互作用问题, 包括了从微型电子芯片中热应变问题, 到用于聚变反应堆、核磁共振扫描器和磁浮列车的大超导磁铁中应力问题的一个很广的范围. 有一类值得加强研究的重要问题, 是跟以铁电体、铁磁体、半导体或微电子材料为基础的传感器或敏感元件有关的力学问题. 另一个可能得到技术成果领域, 是机电操作装置. 为了使工程师更好地设计和优化电磁设备, 还需要对计算电磁场、力、转矩及电流的数值方法作进一步的研究. 激光辐射与高能粒子跟固体的相互作用, 是另一个新的研究领域. 这一领域尚未得到稳定的进展. 这些问题的学科交叉性就意味着, 这一领域还没有正常的拨款来源. 这将是这一领域进一步发展的一个问题.

### 13.1 电子器件和机电装置的力学

使用电磁材料和电子材料制成的器件已经在新技术中起重要作用. 当应力、应变、动力或热影响着电磁行为, 或它们是由电磁场、电荷或电流所产生时, 力学的规律对于设计这些装置就变得极端重要了. 60年代和70年代初, 出现了一些用连续介质理论阐明电磁材料的例子. 而在近10年中, 则较多地集中于专门的应用. 具有重要的电-力学耦合效应的材料可列举如下: 压电晶体与多晶材料; 铁电材料; 铁磁材料; 超导材料; 半导体材料; 导电聚合物; 压电聚合物; 液晶; 激光-光学材料. 涉及上述材料的一些应用、装置和有关的力学问题有: 压电传感器; 双压电晶片、弯曲器、微型风机和开关; 压电晶体振荡器; 强磁场磁铁中的应力, 磁聚变、磁流体力学、核磁共振扫描器; 超导敏感元件(SQUID); 超导体中的传热和热稳定性; 涡流产生的力, 磁聚变、磁铁驱动器; 磁浮车辆; 铁磁操纵装置, 打印机、机器人、主动的结构减振器; 固体的激光加热和变形; 微型电子芯片和电子组件中的热应力; 灵巧的敏感元件——在一个芯片上的敏感元件.

上面所列并不详尽, 但已可说明电磁-力学领域中问题的广泛性. 这一领域可分为两大类: 一类是涉及材料和器件的, 它们的主要功能在电磁性质方面或是作为传感器(如半导体, 压电器件), 但它们的性能受到内部应力和应变的影响; 在第二类中, 则是电磁力、转矩或加热对机械(如磁浮列车, 激光加工)的动力学、稳定性或内应力起重要作用.

力学对上述第一类应用作过的贡献, 是发展压电敏感元件和传感器(包括那些应用表面波效应的). 连续介质力学也对了解电场作用下的液晶行为发挥过作用. 在第二类问题中, 力学对研制用于聚变和磁流体力学的强磁场超导磁铁, 特别当涉及这些巨型复杂结构(重达

400 吨)的内应力时,起着决定性作用。最近10年中,动力学和稳定性也是研制高速磁浮车辆(速度达每小时 500 公里)方面不可缺少的基本知识,而如果要使这项新技术在今后商品化,它将继续起重要作用。

### 13.2 新的材料和技术问题

象导电聚合物压电和聚合物这类新电磁材料目前还未充分开发,从而在电与力学耦合的研究方面将增加一类新问题。空间大尺度柔体结构(跨度达 1 公里)的设计,取决于主动的减振机构的研制,而具有反馈控制的压电聚合物表明有希望承担这个角色。这些材料也可用作敏感元件,并且已经用于小型操纵装置。

有可能从更认真的力学研究得到好处的一个老问题,是铁磁操纵装置的有效设计。例如,在计算机工业的高速击打式印刷机中,这些操纵装置起重要作用。转换成动能的电磁能还不到 5—10%。本世纪初以来,铁电操纵装置研究得不多,但它们可能在机器人应用中起重要作用。一个有关的问题是确定常用工程材料的磁与力学耦合性质。关于这点,一方面,物理学和连续介质理论之间存在着大的空白,另一方面,却在进行着实际的铁磁装置的设计。

在计算机和微电子技术中出现了一类新的电与力学耦合问题。例如,现在正在认识到,含有电子材料组合阵列的亚微米电子器件的生产,以及对诸如材料的残余应力、热应力、疲劳、断裂及粘结等有关力学问题的了解,对于这个活跃领域的未来进展是极其重要的。这方面正在出现的一个分支领域是灵巧敏感元件领域。这些敏感元件是可以与适当的电子器件一起放在一个芯片上的传感器。对于机器人的一个可能的应用,是模拟触觉的装在一个芯片上的微压传感器阵列。

另一类可能受益于力学基础研究的重要问题,是激光辐射与高能粒子束跟固体和结构物的相互作用。在这项技术中建成了许多引人注目的装置,包括激光加工、切割和焊接装置。这一领域能够受益于力学研究是因为,首先,增进了对一些基本问题(象变形过程所产生的高能量率和固体表面上熔融材料的动力学等)的了解;其次,是为计算工况如坑和洞的尺寸,诱发的热应力以及估算设计能力所必需的其他量和特性而提供分析计算和数值计算的工具。

对于国防方面特别重要的是,了解高能电磁辐射和高能粒子跟固体和结构物尤其是电子器件的相互作用。曾经限制力学家参与这方面工作的一个原因是这种研究的保密性,它阻碍了将这类问题列入研究生的研究项目。

最后,电磁力及其他相互作用效应的计算往往受到缺乏数值计算工具的限制。可是,近来象有限元法和边界元法等方法应用于电磁问题已获得很大进步。这种进步有希望在将来获得电磁装置的更好的优化设计。这方面还有若干重要问题需要研究,包括处理三维问题、感生涡流的瞬态问题以及象铁磁体的磁滞之类的材料非线性问题的有效数值代码。在电磁与力学耦合的代码中,固体或结构装置的变形和运动成为重要问题的情形,最近没有取得多大进展。例如,在聚变反应堆设计中已发现,由于有涡流转矩,靠近等离子体的结构的变形,其计算取决于是否将结构的动力学效应包括在电磁计算中。这种磁与力学耦合问题将继续是今后的重要研究领域。

电磁-力学的学科交叉性既给这一领域的进一步发展带来希望,同时也带来了问题,尤其反映在新的研究人员的培养和新的研究工作的投资方面。一个具备力学基础知识的研究人

员往往在电磁方面经验有限,而那些学应用物理的人却往往不懂得应力分析或动力学的奥妙。同时,拨款机构有时不愿拨款给一项交叉学科,它们觉得应由别的单位来支持。为了取得协调的发展,这一领域中需要新的培养人才方式和新的对研究工作拨款方式。在21世纪的制造工厂里,很可能不仅到处都有材料的直接电磁加工和成形,而且还有机电式敏感元件、机电定位和控制装置。所以,政府部门和工业部门两方面都能有对电磁-力学领域拨款的新的积极性,对于今后10年的高技术工业是极关重要的。

### 13.3 需要开展研究项目一览

- 加强与力学有关的研究很可能在敏感元件的领域中立即取得成果。这包括以铁磁和压电材料、半导体材料和具有电磁性质的新聚合物为基础的声学设备和超声设备。这个领域中包括灵巧敏感元件的课题。这方面的研究不仅包括这些材料和设备对力学刺激的响应,还包括传感器在测量外界环境时的动力学行为。增加对敏感元件的了解,将使机器人、自动化生产以及其他计算机参与的设备 and 过程获得好处。

- 加强与力学有关的研究会获得好处的另一个技术领域,是电磁操纵装置。这包括瞬态转动装置,线性力装置及转矩装置。在考虑能量损耗机制、效率和速率增加时,尤其应当考察操纵装置中电驱动电路跟机械部件之间的相互作用。还需要有关于机电操纵装置的新概念。这也许包括带有内装敏感元件和微型芯片控制的“灵巧”操纵装置。

- 需要以现代连续介质理论作基础的关于电磁材料的非线性材料特性的实验。
- 关于亚微米复合电子材料和电子组件的力学问题,是另一个特别优先的新研究领域。
- 为了提高对实际装置中响应、损伤和性能的数值计算能力,需要以连续介质理论为基础的关于激光及其他高能辐射跟固体相互作用的理论。

- 应继续注意与超导装置(如核磁共振扫描系统和聚变反应堆)的力学有关的研究。
- 美国公众已失去对电和磁悬浮装置的兴趣,日本和西德却在这方面继续努力。悬浮车辆、磁铁驱动机和线性电动机的动力学、稳定性和控制,很可能作为本世纪末之前的重要的技术研究问题而出现。

- 最后,如果容许人们对将来的研究方向作一些大胆的猜测,则有迹象表明,象磨损、切削、加工、滑动、摩擦等等表面现象中,电场和电化学反应也许要起关键作用。苏联对这个课题已有广泛的研究,但关于电场跟摩擦学理论之间的相互关系方面,只获得了一些零散的成果。

### 13.4 电子器件和机电装置的力学方面的精选书刊目录

书籍和学术会议文集

- Lord, W (Ed) (1985). *COMPUTAG proceedings*, Colorado State Univ, Ft Collins.
- Maugin, C A (Ed) (1983). *The mechanical behavior of electromagnetic solid continua*, proceedings of the IUTAM-IUPAP symposium, Paris.
- McAvoy, B R (Ed) (1984). *IEEE 1984 ultrasonics symposium*, proceedings, IEEE no 84CH2112-1, IEEE, New York.
- Melcher, J (1981). *Continuum electromechanics*, MIT Press, Cambridge MA.
- Moon, F C (1984). *Magneto-solid mechanics*, Wiley, New York.
- Nelson, D F (1979). *Electric, optic and acoustic interactions in dielectrics*, Wiley-Interscience, New York.
- Rhodes, R G, and Mulhall, R G (1981). *Magnetic levitation for rail transport*, Clarendon, Oxford.

(下转第 481 页)

# SIMILARITY OF TURBULENT CHARACTERISTICS IN ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER SIMULATION

Yan Da-chun

(Department of Mechanics, Beijing University)

## Abstract

Similarity criteria of turbulent characteristics in atmospheric boundary layer (ABL) simulation are deduced, and advantages and disadvantages of various simulation techniques are discussed. An 1/1000 neutral ABL model in a low speed wind tunnel with 2.25 m diameter at Beijing University has been set up by 1/4 elliptic wedge vorticity generator method, and it provided a good approximation of turbulent characteristics in the flow field to field measurement data and results from wind tunnels with long testing section. Results of its applications in wind engineering and air pollution problems demonstrated, that similarity of turbulent characteristics in this model is satisfactory.

**Keywords** *atmospheric boundary layer; wind tunnel simulation; similarity of turbulent characteristics*

---

(上接第 534 页)

- Tiersten, H F (1969). *Linear piezoelectric plate vibrations*, Plenum, New York.  
Thome, R J, and Tarrh, J M (1982). *MHD and fusion magnets; field and force design concepts*. Wiley, New York.  
Turner, L (Ed) (1981). *COMPUMAG proceedings*, ANL.  
*Ultrasonics International* 83 (1983). Halifax, Canada, July, conference proceedings, Butterworth, London.

期 刊

*Electric Machines and Electromechanics*  
*IEEE Transactions on Magnetics*  
*IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics*  
*International Journal of Engineering Science*  
*International Journal of Solids and Structures*  
*Journal of Applied Physics*  
*The Journal of the Acoustical Society of America*

俞稼樊译自: *Appl. Mech. Rev.*, 38, 10 (1985): 1294—1296. (董务民校)