

微流体数字化的科学与技术问题(II): 物质数字化及物质能量信息统一数字化 概念研究

Scientific and Technological Problems of Digitalization of Microfluids (Part II): Conceptual Study of Digitalization of Matter and Integrated Digitalization of Matter-Energy-Information

章维一/ZHANG Wei-yi, 侯丽雅/HOU Li-ya

南京理工大学微系统研究室,南京 210094

School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094, China

[摘要] 定义的物质数字化是物质自身或相互间的数字化,物质能量信息统一数字化是这三者作为统一体组成部分而协调地各自传输与相互转化的数字化,把数字化界说为微传输与微转化在时间上是节拍化、物理量取值是规整化且该节拍和规整是脉冲序列可控的。阐述了在几何、物理、化学、生物诸方面物质微转化的内容和用途;分析了电效应与流体、化学、生物效应在所述两个数字化中的互补作用;指出了现有信息数字化和我们的微流体数字化技术为实现两个数字化提供的基础和开辟的道路;指出基础力学体系对微米、纳米系统规模应用的指导意义,认为代表尺寸递减时系统历经3个层次,建议把牛顿力学、量子力学单独指导的第一、第三层次作为现阶段规模应用重点。

[关键词] 粘性流体力学;微流体数字化;物质数字化;物质能量信息统一数字化;微传输与微转化;规模应用;微系统;纳米系统

[中图分类号] O35, TP27

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2006)03-0041-07

Abstract: We define the digitalization of matter as one, in which substances change digitally in some respects of themselves or from one kind to another, and the integrated digitalization of matter-energy-information as that, in which the three, as constituents of a unified body, are coordinately and digitally transported respectively and transformed mutually. "Digitally" means in a controllable pulse manner, which is rhythmic in time and standardized in the value of a quantity. The contents and applications of the micro transform of matter are stated in geometrical, physical, chemical and biological fields. The mutual complementation of the electric effects and the fluidic, chemical and biological effects in the two kinds of digitalization mentioned above is expounded. It is emphasized that the mass scale application of microsystems and nano ones should be supervised by a proper fundamental mechanics theory. We think that a system, when its representative dimensions reduce, will experience three levels, and suggest that the first and third levels, in which Newtonian mechanics and quantum mechanics, respectively, take a supervisory part, should enjoy priority in mass scale application consideration.

Key Words: viscous fluid mechanics; digitalization of microfluids; digitalization of matter; integrated digitalization of matter-energy-information; micro transport and transform; mass scale application; micro systems; nano systems

CLC Numbers: O35, TP27

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2006)03-0041-07

本论文拟分为3部分,在已发表的第一部分(I)中^[1],我们发现了一个现象、提出了两个概念和一种方法。我们用所述方法、以所提出的微特性体系为评价标准,对物质传输与转化的有效性进行了(多数是定性的)实验验证。本篇论文(第二部分(II))将提出作为这些现象、概念和方法主要应用的物质数字化及物质能量信息统一数字化(二者并称时简称为“两个数字化”)的概念构想。

1 两个数字化的定义

物质数字化:物质以流体态(液态,固体以粉体态)或以流体为载体进行数字化微传输,并在微传输的某些环节中进行数字化微转化,即物质自身某些方面发生变化或转化为另一种物质。

物质能量信息统一数字化:物质、能量、信息三者作为一个统一体的组成部分协调地各自进行数字化微传输,并在微传输的某些环节进行相互数字化微转化。实际上,这三者从来都不是互相割裂的,所谓信息数字化或物质数字化只是对其中的信息或物质

收稿日期:2006-02-15

基金项目:江苏省科技攻关计划项目(BE2005013),国家自然科学基金项目(50275079),国家“863计划”项目(2001AA423220)

作者简介:章维一,男,南京市孝陵卫200号南京理工大学,教授,主要从事微系统与纳米系统、生物医学工程、生物制造、快速成型等的研究;E-mail:zhangweiyi_email@263.net

方面加以强调。

物质要以流体态进行微传输或微转化有众多原因。首先是流体易被变形而进入微流道,易被分割而形成微喷射,易因对流、扩散而利于传热、化学反应等;其次是便于微物体特别是生命微物体的传输,细胞、细菌等在液体载体中的传输,不但阻力较沿固壁滑行大为降低,而且有利于它们的存活,更因分散液的加入使它们彼此分开而能实现单个输送;再次是有助于纳米粉体的分散和使用,由于纳米粉体极易发生团聚,因此它的分散处理是纳米粉体技术中最关键的技术^[2],而液相就是它最好的分散载体和使用时的输送载体。

物质数字化微传输或数字化微转化是指:①物质流动或转化在时间上不是持续的而是节拍化的,对应于某节拍其速度可以是正、零或负值;②物质相关的物理量在取值上不是连续的而是规整化的;③该节拍化规整化的脉冲序列是可控的。当然,所述节拍和规整可以根据需要而作调整。

图1中,先设法在微流道中产生一个气-液串,然后令其作脉冲流动。图1a-图1c为相继3个节拍气-液串的对对应位置,可见其步长是规整化的。注意:该串中的液段与固壁的接触角不为零,说明气段中固壁直接与气体接触,而不是蒙上一层液膜后再与气体接触,这提示液段流速沿流道横向均匀分布,因此,这不是常见的层流或湍流流动模式,而是塞状流动。塞状流动中,因为近壁流体的纵向流速不为零,因此具有好的纵向扰动性能;又,我们的微流体数字化技术,除了纵向扰动外还可添加横向扰动,从而进一步提高了扰动性能。扰动可应用于对流传热、分离、混合、边界层控制等。

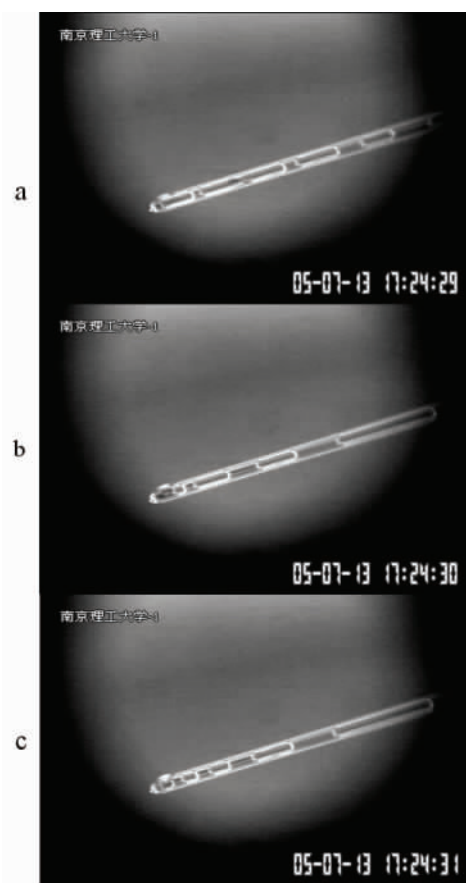


图1 微气-液串的脉冲流动

Fig.1 Pulse flow of the micro gas-liquid string

注:图1a-图1c为相继3个节拍的对应位置。流动模式不是层流或湍流,而是塞状流;近壁流体流速不为零,因而有较好的纵向扰动性。

图2中,长的微流道提供了一个惯性力数字化扰动分离场,把原来均匀混合的两种流体分离开来。图2a实现了数字化液-固分离,与常见的过滤法液-固分离技术相比,它不需多孔介质阻挡物来挡住固体微粒,从而也不会因在阻挡物表面形成滤饼而逐渐降低过滤生产率;图2b实现了数字化固-固分离,其中白色微粒是银,深色微粒是刚玉,它们因密度不同而被分离。

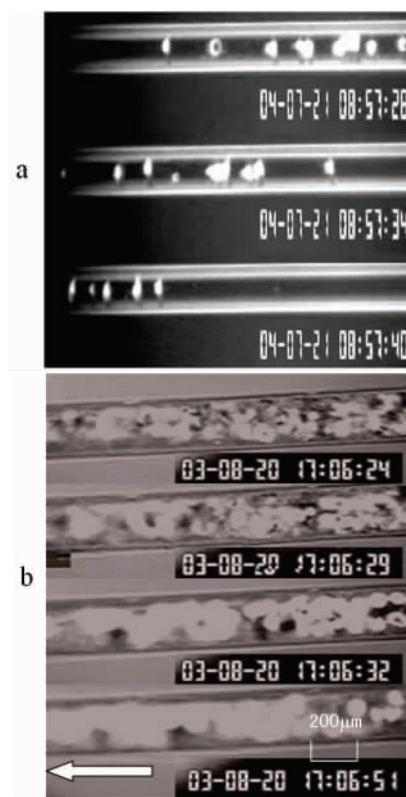


图2 均匀混合流体在长微流道的数字化惯性力场中的分离

Fig.2 Separation of well-mixed fluids in the digital inertial force field in a long, microchannel

注:图2a为液-固分离,不象过滤法会形成滤饼;

图2b为固-固分离,白色微粒是银,深色是刚玉。

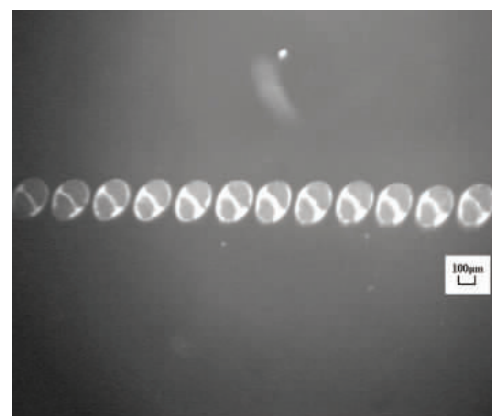


图3 酚酞和氢氧化钠溶液分别同步喷入液氮形成的微滴序列

Fig.3 Microdroplet sequence formed by ejecting phenolphthalein and sodium hydroxide solution simultaneously into a uniformly flowing liquid medium

注:微滴因化学变化而颜色变红,其间隔是节拍化的,形状和大小是规整化的。

图3中,令酚酞液和氢氧化钠溶液经不同喷嘴同步地脉冲喷入匀速流动的不相混溶的氛围液体中,形成的微滴颜色变红(但很浅),表明发生了化学变化;微滴间距均匀,表明是节拍化的;微滴大小、形状一致,表明是规整化的。

图4中,令粉体脉冲地喷向匀速移动平板,粉体斑点间距及分布直径和包含粒数,都表明节拍化及规整化相当好。

图5中,液体按预先设定的编码喷入匀速流动的不相混溶液体氛围中,形成的微滴序列是可控的。

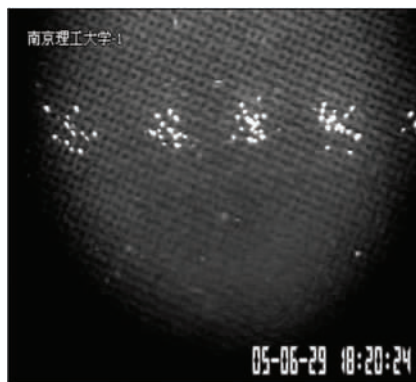


图4 粉体喷向匀速移动的平板形成的斑点序列

Fig. 4 Spot sequence formed by ejecting powder toward a uniformly moving plate

注:该序列的间隔是节拍化的,斑点直径或其包含粒数是规整化的。



图5 液体按设定编码喷入匀速流动液氛形成的有节奏可控序列

Fig. 5 Controllable sequence formed by ejecting liquid into a uniformly flowing liquid medium according to a designed code

正如今已实现的信息数字化是集科学、技术、工程与应用于一身的庞然大物一样,我们希望将来的物质数字化也是这样集于一身的、在规模上与信息数字化相比肩的大物,而进一步的物质能量信息统一数字化将有更大的规模。请注意把理论研究兴趣与规模应用产业化的可能性区分开来,有些问题很新奇很能引起研究兴趣,但不一定能形成规模应用产业,而没有理论体系指导的规模应用产业化在当今世界是不可想象的。现在的自然科学(除数学外)和技术,从根本上说都是受物理学、基础力学体系指导的,除相对论力学描述宇观和极高速粒子行为外,对宏观、微观两种世界的描述基于牛顿力学、量子力学两个基础力学体系,而这两个体系又是如此地不相容,以致在可见的将来不能还指望出

现一个新的体系来统一两者或填补两者之间的鸿沟。因此,近期规模应用产业化的重点应放在牛顿力学与量子力学体系中任一单独即可指导的问题上。

用以实现微传输或微转化的微系统,到底是什么微小?微小到何种程度?对第一个问题——到底是什么微小,人们容易产生“系统外形尺寸越小其内在微特性也就越好”的想法,但我们在文献[1]、[3]中的分析表明该想法并不正确。我们提出应以所注目的微特性密切相关的代表物理量来衡量。例1:图6所示细胞微注射系统,为了不胀破细胞,注射量的分辨率是所注目的微特性之一,与此密切相关的代表尺寸有2个,可选为注射针内径和注射液脉冲运动步长。例2:图7所示微喷射可用于微卫星位姿调整微推进器,每次喷出的动量 mv 是所注目的微特性,与此相关的代表物理量有3个,可选为喷嘴内径、喷射物在喷嘴内脉冲运动步长(这2个量相结合决定质量 m)及喷射瞬时速度 v 。注意:这两例中作为外形尺寸之一的流道长度并不需要微小。



图6 研制中的细胞微注射系统

Fig. 6 Set up for cell injection, being developed

注:它有4个特点:注射液数字化流动;注射针数字化脉冲移动;细胞由输送器逐个输送;细胞在吸持器上自动调整姿态。

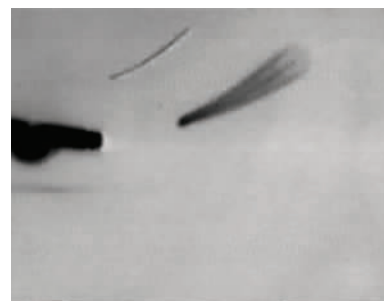


图7 向气氛或真空中的数字化微喷射

Fig. 7 Micro ejection into a gaseous medium or vacuum

注:喷射的动量小且方向性好,可用作微冲量推进器;微喷滴分散成大量均匀的纳米雾滴并迅速相变,可用于纳米粉体制备或数字化微化学反应。

对第二个问题——微小到何种程度?通常的做法是按其尺寸(什么尺寸?)范围分类,分为纳系统、微系统和宏系统。这种分类方法有其制造、检测方面的根据,如宏系统可用传统切削工艺制造并用肉眼观察,微系统可用光刻工艺制造并用光学显微镜观察,而纳系统须用远紫外线、X射线、电子束等更短波长射线来光刻并用电子显微镜来观察。但从设计、理论体系方面来看,这种分类方法仍有所不足。因此,我们对微系统的定义是^[4]:在牛顿力学起作用的范围内,因代表尺寸变小而使得物理法则或制造检测手段与宏系统不同的系统。若两系统有同样的若干影响因素,但这些因素影响程度的排序不同,则称物理法则不同。

例 3: 用一枝在头发上摩擦过的圆珠笔杆, 要用相当大的力气才能推动一本躺在桌上的书, 但却能不接触地吸起或推动纸屑。这两种情况下都要考虑 3 种力的因素: 重力、摩擦力和静电力。随着尺寸下降, 重力的影响下降, 而后两种力的影响上升, 故两种情况下物理法则不同。在微流体或物质微传输场合, 当流道横向尺寸下降、流体黏度增大、平均流速降低, 即雷诺数 Re 下降到一定程度时, 则出现微流动静止现象, 这时的物理法则也就与宏流动不同。我们的微系统定义有如下好处: ① 尺寸范围更有弹性, 其尺寸上限由与宏系统不同的物理法则、尺寸下限由牛顿力学仍起作用来规定, 从而把某些毫米级、纳米级的系统也归入微系统; ② 实践表明, 很多情况下纳米-微米复合结构比单纯纳米结构具有更好的性能^[25]; ③ 避免了单纯从制造、检测角度来看问题, 从而把自然微系统也引入研究领域; ④ 明确只需代表尺寸微小而其它尺寸仍可以是宏的。

按宏尺寸的空间维数分类, 微特性系统的问题可分为: ① 零维的, 如微粒、微液滴、微气泡在大气或水中的沉降、漂移; ② 一维的, 如血管内血液流动, 医用导管的外表面与血管壁的润滑其内孔中物质的传输; ③ 二维的, 如摩擦学表面的润滑; ④ 三维的, 如多孔介质甚至包括骨骼、树干、岩土中的微流动。如此分类有利于扩大研究视野, 形成学科交叉并概括出共性的科学与技术问题。

2 两个数字化的内容与可能用途

2.1 物质数字化的内容与用途

物质微转化的内容非常丰富, 有待进一步深入钻研, 这里仅举几例。

2.1.1 几何变化

① 尺寸大小、形状、空间分布、堆积成型等。首先, 从大团流体中分割出规整化的一小份, 这一小份的分辨率常是我们关注的, 例如在细胞微注射中。其次, 有时希望喷出后形状分散, 例如图 7 中把溶液或液态金属在气氛或真空中分散而制备纳米粉体; 有时希望喷出后斑点形成椭圆, 如图 8b 有利于连点成线。再次, 希望斑点在表面上按一定要求分布, 在基因芯片点样中常要求高的点样密度, 如图 9。此外, 微电子线路、摩擦学表面织构、军事隐身表面织构、微小零件快速成型、肝脏组织的生物制造等表面及立体制造, 都是物质数字化微几何变化的实例。图 8c 所示为托伦斯试剂与醛同步喷射, 经银镜反应在固壁上形成固体银斑点进而连成固体银线, 这里同时复合了几何、物理(相变)和化学变化; 图示方法可用于微电子线路制造, 对于小批即时试制较之光刻工艺为优。② 把物料输送到特殊的空间中, 如送入由膜包裹的细胞内、经医用导管送入狭窄而弯曲的血管内等。图 6 是我们研制中的细胞微注射仪, 它有 4 个特点: 一是注射液数字化脉冲流动, 注液工序实现自动化且液量分辨率达飞升级; 二是注射针在刺入退出工序中数字化脉冲地移动, 以较高的瞬时速度减小细胞变形; 三是细胞由数字化输送器送至显微镜视野, 免去在培养皿中搜索细胞的工夫; 四是细胞在吸持器上可自动调整姿态, 使细胞核位置对准注射针尖。③ 实现不同相物料间的包裹或镶嵌, 如制成以半固相膜包裹液体、粉体甚至细胞的微胶囊, 在药品、农药、化肥、食品、印刷、香料及航天固体燃料等方面获得应用。制备微胶囊的方法已有很多^[6], 用本文数字化微转化方法制备的优势有 4 点: 一是因物料规整化而颗粒尺寸均匀且大小可调; 二是囊芯材料种类广; 三是无需加热加压, 对囊芯物质生物活性无降低; 四是设备简单、成本低, 可现场、即时、小批量、个体化地制造和应用。

2.1.2 物理变化

① 相变、相的混合与分离、平衡态的维持与变迁等。图 7、图 8 等是数字化相变的例子。相变不但可用于此两图中的制备纳米粉体或堆积成型等, 更由于伴随着热量吸放、体积和压力改变、面

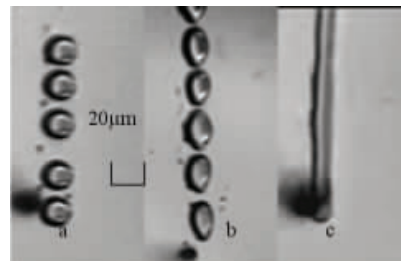


图 8 托伦斯试剂与醛同步喷向平板经银镜反应生成的固相斑点与线

Fig. 8 Solid phase spots and lines by ejecting Tollen's reagent and aldehyde simultaneously toward uniformly moving plate

注: 图 8a 为圆形斑点, 图 8b 为椭圆斑点, 图 8c 为连点而成的线。

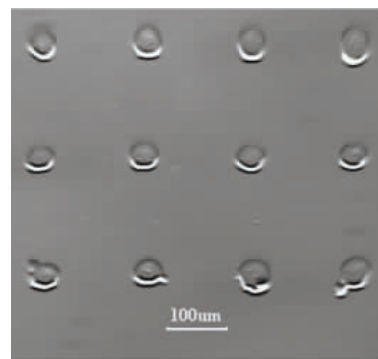


图 9 数字化微喷射法点样的基因芯片阵列

Fig. 9 DNA chip array spotted by digital micro ejection

注: 基因芯片常要求点样速度快、阵列密度高、无卫星液滴。数字化微喷射还可以点出非均匀阵列或特殊图案的表面织构。

积和表面张力变化等, 可引起温度升降、对外界作机械功, 以及物质的体性质和面性质改变。相的数字化分离例如如图 2。例 4: 相的数字化混合可用图 10 所示仅具“裸”微结构的微流路本体来实现。该本体含有主微流道 A, 2 个互相垂直的 X 向和 Y 向的支微流道 C 和 D 以及腔 B, 该本体由 2 个互相垂直的 X 向和 Y 向整体驱动器各自独立地脉冲地驱动, 选择合适驱动参量能使两种不同物料分别经流道 C 和 D 进入腔 B 混合, 然后混合物由主微流道 A 流出, 由于主微流道路径短, 故其中不再发生混合物的分离。分别独立调整 X 向和 Y 向整体驱动器的波形、频率、幅值和相位可以自由地调整 C 和 D 中两种物料的流量, 从而调整混合物的配比及其总流量。而由于 2 个整体驱动器的驱动力大且同时作用在纵横两个方向流动(塞状流动), 故扰动的混合充分, 而这微流路本身结构又非常简单。② 与力学有关的物理量, 如质量、动量、冲量、力等的变化等。国外有文献报告数字化微冲量推进器^[7], 其特征是: 有多个以膜包裹的微液泡, 有选择地加热若干个微液泡, 使其中液体汽化、胀破薄膜喷出而得数字化微冲量。注意到冲量是一个矢量, 其分辨率包含方向和大小两方面, 据介绍冲量大小至少应在 10^{-4} – 10^{-6} N·s 级, 更小则更好。该推进器中薄膜胀破的部位、大小、形状难于控制, 故冲量方向性不好; 又微冲量大小仅在 10^{-4} N·s 级。若用本文例 2 中技术, 流体从极细喷嘴喷出, 方向性很好; 而且每次喷出流体体积处于 100 飞升级, 故冲量大小有望控制在 10^{-10} N·s 级。③ 与热学、声学、光学、电磁学有关物理量的变化。除了前述数字化相变和平衡态改变伴随的数字化吸放热及做功等热力学问题外, 流体在不发生相变情况下作数字化纵向传输, 同时伴有数字化纵向、横向扰动的对流传热, 亦为微转

化的重要内容,它们在物质数字化运动的同时实现了能量数字化微转化。这里所述的对流传热,由于微流道可更细长、扰动更充分,有望广泛应用于各种电子设备和电脑,以克服阻碍它们进一步微型化的散热困难。

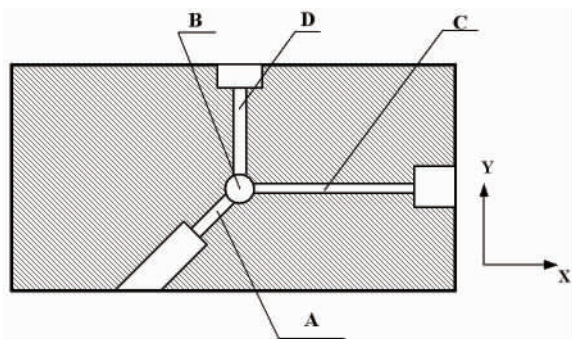


图 10 仅具“裸”微结构的微流路本体示意图
Fig. 10 Schematic diagram of microfluidic circuit body with a “bare” micro structure

注:互相垂直的 X 向和 Y 向整体驱动器,各自对互相垂直的支微流道 C 和 D 中不同物质驱动,使它们流进腔 B 混合后由短主微流道 A 流出。独立调整 2 个整体驱动器的驱动参量,可调整两种物质的配比和总流量。注意其微结构非常简单。

2.1.3 化学变化

化学变化和生物学变化可能是物质数字化中最丰富,也是使得物质能量信息统一数字化与现有信息数字化最不同的变化。物质以流体态远比密集的固态容易发生化学反应,种类繁多的化工流体操作中的多数都可以数字化,以促进反应的进行;这些流体操作不但可望数字化地控制反映速度节奏,还可望数字化地改变反应物的配比、顺序和其它参量,从而获得不同成分、不同种类的化学生成物。在各种化学反应中,不仅物质在种类上起变化,而且伴随着种种物理效应和生物效应,伴随着化学能和化学信息的吸放。数字化地控制反应节奏的例子,如图 3 中的酸碱反应和图 8 中的银镜反应,它们都是等节拍、等规整的节奏。例 5:例 4 中的数字化微混合器,在原理上可用作微化学反应器,若支微流道 C 和 D 分别数字化输送燃料和氧化剂,则它们在数字化扰动混合下,在燃烧室 B 中按数字化配比进行数字化反应,反应物从喷口 A 数字化喷出而成为数字化微发动机。当然,该微混合器也可分别输入试样和试剂,用作微分析仪;还可输入两种反应物,用作生产生成物的微化学工场。上述微化学工场还可建得更复杂,生产更有风味的产品。例 6:若它有 50 个支流道,每个用独立驱动器数字化输送不同的原料,设这 50 种原料按不同配比、顺序和处理(温度、时间等)能制备出 10 000 种不同风味的某类化学品。由于这种制备方法具有现场、即时、小批量、个性化的特点,该微化学工场可能有如下好处:①降低储存成本,10 000 种不同风味的物品需要大的储存空间,而且需要多种保质、保鲜技术和药剂,若常备 1 000 种,而另外 9 000 种即时制备则可大大降低这方面的成本;②新产品研发成本降低、周期缩短、更有个性,不必漫无边际地尝试全部可能的新产品,只按需求或按兴之所至研发即可;③若这些风味是作用于人的嗅、味、体诸觉,则区别于现今信息化主要依靠电及易由电产生的效应而主要作用于人的视、听两觉(也有为数不多的体觉,如振动觉),从而丰富和补充了信息化的内容;④由于提供了无数种因尚未研发而未曾被别人体验过的风味或感觉的手段,从而也促进了有 21 世纪特色的以消费体验为主的商机。

2.1.4 生物学变化

生物学微传输除输送液体和传统无机、有机物质外,还更多地输送活性物质,包括生物化学分子、病毒、细菌、真核细胞等,它们通常希望在常温、常压下,不是作为群体而是逐个地输送。生物学微变化可分为如下 3 个层次。①尺寸适合被微传输的层次。其中如生物化学、细胞生物学变化几乎形成了现代生物学的核心内容,即就细胞而言,有生殖细胞间体外受精、体细胞间的融合、核移植、外源 DNA 片段转入细胞核等繁殖、遗传方面的变化^[8];也有细胞分化、个体发育方面的变化。实验表明,细胞分化不但依赖于整个细胞所处的环境,也有赖于细胞内的核、质及其它细胞器的相对空间配置;以精准的微注入或吸出对它们进行空间位置更换和物质交换微操作,是研究细胞分化、个体发育及调控机制和细胞治疗的有力手段。②肝、肺等小块组织层次的生物制造已在研究中。将有结构、识别和催化功能的传统材料、生物活性材料和生物结构材料以数字化微喷射方式,进行直接组装、自组装和在生物催化剂参与下的合成组装。组合物可以是三维或二维:先组装成三维细胞支架,再让细胞在支架上附着、增殖和分化,可望制出小块组织;至于二维表面梯度修饰,能使有识别功能的小分子牢固而有一定形貌地附着于植入体表面,从而提高植入体的生物相容性及生物活性。③人和动物的个体层次。微量物质能引起生理、药理、毒理乃至心理的变化,如化学递质和激素能引起神经和心理变化,研究体内这些物质的自然传输与转化并以数字化手段干预,是具有新的困难的研究课题。

2.2 物质能量信息统一数字化的内容与用途

与物质、能量可以独立于人而存在不同,信息只是对人而言的。信息还没有公认一致的定义,狭义的信息可能是指用符号、信号或消息所包含的内容来消除对客观事物认识的不确定性;广义的信息还可指能引起人感觉、知觉或回忆的东西。信息可以正反两方面运用。正面运用时,希望原汁原味地传输和再现远在网络彼端的东西,譬如例 6 中的化学品,希望再现它的外观和扔到桌上的声音,它的气味、口感和是否又湿又滑等手感。前两种信息可通过电光、电声效应来再现,后三种信息则要用化学、流体效应来再现。反面运用时^[9],则希望信息仅为所欲通知的人所知晓和理解,而对于他人该信息或是隐身或是即使被人感知却不能理解其意义。

现今的信息数字化是借助于微电子,将来的物质数字化是借助于微流体数字化技术,电和流体在整个物质能量信息统一数字化系统中起着强烈的互补作用。

2.2.1 物质数字化中

①在物理效应方面:电易在密集固态物质上传导并直接获得电光、电磁、电声、电热、电力学效应等,但对流体直接起作用的电效应不多^[10],且常受到特殊要求的限制,如电流变、基于双电层效应的电渗和电泳、电湿等直接对流体起作用的电效应,都要求流体限于液体且有特殊电性质。若欲对种类更广的流体态及以流体为载体的物质进行更有效的微传输和微转化,则必须依赖于流体更普遍、更本质的性质,如易变形、易分割的几何性质,密度、黏度一类力学性质等;而这些性质的利用须经直接的力学效应,而电在此处起着间接的、把电转化为力的作用。②在化学、生物效应方面:在整个化学、生物学领域中,电化学、电生物学只占小部分,而更大的部分是由流体或以流体为载体物质的传输与转化来承担的。

2.2.2 信息和能量数字化中

①作为信息和能量微传输手段,电在系统的中间,尤其是远距离传输环节是优异的,在近输出端的近距离传输环节,电在上述固体中直接获得的效应方面也有优势,但在流体、化学和生物的信息和能量传输中则有不足。②作为能量,电要经导线传输而且其携带的量相对不大、释放也不猛烈;但有时,如在人体中则不

希望由电流而希望由流体物质来传输能量,而且微量的化学物质可携带更大能量,其释放可更猛烈。至于化学毒物和高致病性病毒,如果把它们对于生物体的影响也看作能量的话,则往往比电的影响更为猛烈。③ 作为系统输出端的执行环节,在信息的正面运用中,由电在密集固体上直接获得的效应常较好地作用于人的视觉和听觉,不过都要经由特定的转化介质,如显示器屏幕和喇叭;由流体物质携带并在转化中产生的效应,常更好地作用于嗅觉、味觉和体觉,而且不一定要经特定的转化介质,譬如微量氨水只要被传输到距人足够近,其分子自动地蒸发扩散即转化而作用于人的鼻和眼。④ 在信息的反面运用中,因流体物质的信息不一定要经特定的转化介质,故此信息的存在性不易为人所知,即其隐身性好;又因流体物质的几何、力学、化学、生物效应的种类远较电的直接效应为多,故密码的表现手段也更为丰富,因而短期被破译也更难。

3 实现两个数字化的有利条件

3.1 现有的信息数字化为两个数字化打下了基础

借助电信号实现的当今信息数字化为两个数字化打下了 4 个方面的基础:① 电信号及其放大是信息和能量远距离传输的绝好载体;② 在输出端的近距离传输环节和转化执行环节,电在固体中直接获得的效应方面有优势,在其不占优势的流体、化学和生物效应方面也可以起间接作用,如先直接把电转化为力,再直接用力传输与转化流体;③ 电的直接效应常能较好地作用于人的视觉、听觉和部分体觉;④ 基于电的信息数字化的科学、技术和网络已高度发达,在网络输出端配上直接对流体、化学、生物的物质、能量、信息的近距离微传输和微转化装置,会大大加快两个数字化的进程。

3.2 微流体数字化为两个数字化开辟了道路

微特性流体系统的概念研究,一方面在观念上起了解除“微系统就是外形小的系统,外形越小则内在微特性也越好”一类束缚的作用;另一方面,提出的物质传输与转化用微流体系统的微特性体系,为其传输与转化有效性提供了判据。

合理流动形态概念和微流体脉冲影响方法为物质传输与转化的有效实施(其效果见文献[1])起了清除如下障碍的作用。

1) 克服物质微传输中“要么流不动,要么不可预测、不可控制地突然爆发性流动”这一本质困难,提高了微流动的正常性。采用较高脉冲主动力与较低常驻主动力相结合的驱动法,使流体该静止时确保静止,而脉冲力来临时又有较高的瞬时流速,使该流动时确保流动。

2) 克服原来借自宏流动的容积、压力、速度等驱动和控制参量的单调性和对微流动的不适应性,提供了更丰富和更适合微流动自身特点的参量,提高了可控性^[1]。脉冲力可在多于 1 维的空间上、作多于 1 自由度的运动中施加,各维都有波形、频率、幅值、相位、脉冲节奏等参量,从而有如下好处:① 它们的组合更提供了参量的实施方便性和有效性的选择;② 集驱动、控制、扰动 3 功能于一体,既提高了用途的万能性,又为结构简单性创造了条件;③ 作为主动扰动方法,其扰动程度不但大,而且纵向-横向扰动比和总扰动程度都可调。

3) 物质传输与转化在原理上不再依赖于流体的某些特殊性质,如须为液体且要特殊电性质等,而是基于作为流体更普遍更本质的密度、惯性、黏性等属性,从而:① 拓宽了流体种类的普适性:不但拓宽至可适用于正常液体和粉体,而且提高了载运微粒、微气泡等的能力;② 提高了工作可靠性,不易因表面污染、固粒堵塞、气泡阻断等失效;③ 有利于降低流动阻力:由于脉冲主动惯性力沿微流道纵向分布,作为常驻主动力的压力降不随纵向长度而增加,这允许不增大压力降条件下流道横向长度减小及纵向长度、流体黏度或流量增大,进而又为传输与转化分辨率和对流

传热效能的提高做出贡献;④ 脉冲主动惯性力的运用,给出了以置于微流路本体外的宏尺寸驱动器对本体内的流体进行影响装置的可能性和微流路本体仅具“裸”微结构装置的可能性,进一步给出了微结构简单性、流道横向尺寸可微小化性,以及用为数不多的宏尺寸驱动器影响微流道阵列或多孔介质中流体流动的可能性。

4) 提高了传输与转化的分辨率。这一方面因流道横向尺寸得以减小,另一方面因脉冲流动的步长可用脉冲主动惯性力的反向切割作用而变短。由于我们把微传输或微几何转化的分辨率定义为一次脉冲流动或一次喷射流体总量,而不是定义为喷射后单滴大小(一次喷射可能形成多滴),因此,流体在喷出前必在微喷道内已作为连续统的大团流体中分割出规整化的一小份。图 11 中微流道近出口处的空化气泡,表明了一小段液体正从内径约 10 μm 的微流道内的长液柱中被分割。文献[13]、[14] 报告了用于数字化化学反应的流体分割装置,不过它不能分割粉体,而分割液体直径粗约 500 μm ,体积分辨率则约为我们的十万分之一。

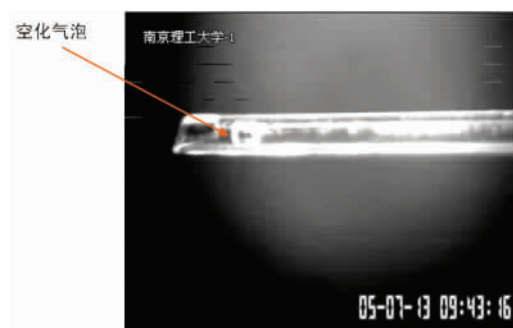


图 11 流体在喷出前的空化分割

Fig. 11 Cavitation segmentation of fluid before being ejected

注:由于把喷射分辨率定义为单次喷射流体总量而不是单滴大小,而一次喷射可能包含多滴,故流体分割必在喷出前发生。脉冲惯性力的反向切割作用使空化气泡很接近微流道出口,提高了喷射分辨率。

4 建议和思考

政府的重视和支持是“两个数字化”实现的重要保证,建议为“两个数字化”单独设项,若单独设项暂不可行,则建议将纳米技术计划更名为微纳技术计划并在其中专门为“两个数字化”划一块专用研究经费。理由如下:① “纳米技术”、“微米技术”这类从尺寸上划分的称呼,虽然各国都通用,但其在科学思想性上有缺陷,因而在计划的指导上有隐患。首先它未明确系统的尺寸应是代表尺寸,其次它虽然有其制造、检测方面的根据,却对设计方面尤其是适用理论体系方面没有足够重视。如前所述,按我们的看法^[4],当代表尺寸由宏尺寸逐渐递减时,系统将历经 3 个层次:第一层次是物理法则与宏世界不同,但牛顿力学仍起指导作用;第二层次是牛顿力学和量子力学效应纠缠一起不易分开;第三层次是以量子力学效应为主导的。因为规模应用产业化离不开理论,当然也离不开作为理论基石的基础力学体系的指导,故建议采取“抓两头放中间”,把应用产业化与科研兴趣区分开来的发展方针,即把牛顿力学和量子力学各起主导作用的第一和第三层次为重点,花大力气去抓,而在牛顿力学和量子力学效应纠缠不好分开的第二层次留少数精干队伍,花不多的钱搞科研,待其理论有突破希望时再加大投入力度。② 按照我们微系统的定义,其代表尺寸范围更有弹性,可以包括部分毫米级和纳米级的结构;反过来,凸显量子效应器件的代表尺寸范围也有弹性,可大至微米级^[5]。因此,单纯按尺寸把技术分为纳米、微米两块,并把两者放在

不相称的轻重位置上,理论和事实的根据都不足。③ 实践表明,微-纳米级复合结构往往比纯纳米结构有更好的性能,见江雷^[9]、李凤生^[2]等文献。

我们打算从下述几个方面继续努力。① 加强学术思想性探索。上述的概念构想还只是初步的、不完整的,甚至包含有谬误,今后一方面要加强交流,另一方面要提高研究问题的思想性层次包括哲学层次。经验表明,在踏入微系统这一新领域时,容易被已经出现并将继续出现的如“微系统就是外形小的系统,外形越小则内在微特性也越好”一类想法所迷惑和束缚,因此,提高思想性是冲破束缚的要求。② 加强实践性探索。对已有实践定性效果的研究,要加强其定量性;对已有构想而尚未实施的研究,要在实践中检验和修正。③ 加强理论性探索。本论文的第三部分(III)(待发表)将在实验现象基础上提出新的基本方程,试图对物质微传输与微几何转化作数学表述。④ 探索属于物质数字化用微流体系统自身的制造技术。我们已在这方面做了有初步效果的探索,请注意本论文全部实验照片中的微流道都是玻璃的。玻璃微流体器件较硅器件不但流道可以在纵向更长、横向更小、截面由带棱角的变为圆形,而且能制成3维形状的及3维连通的微流道。我们认为,以玻璃为基材的制造技术有可能取代借自微电子领域的硅制造技术,成为物质数字化用微流体系统自身的制造技术,理由拟另文阐述。

(注:本文中的全部实验照片均由南京理工大学微系统研究室研究人员摄制。)

参考文献(References)

- [1] 章维一,侯丽雅.微流体数字化技术的科学与技术问题(I):概念、方法和效果[J].科技导报,2005,23(8):4-9.
- [2] 李凤生,崔平,杨毅,等.微纳米粉体后处理技术及其应用[M].北京:国防工业出版社,2005.
- [3] 章维一,侯丽雅.微流体系统数字化技术(技术总结报告)[R].南京:南

京理工大学,2004.

- [4] 章维一,侯丽雅.微系统及其商品化[J].中国机械工程,2000,11(3):348-352.
- [5] 江雷.从自然到仿生的超疏水纳米界面材料[J].科技导报,2005,23(2):4-8.
- [6] 宋健,陈磊,李效军.微胶囊化技术及其应用[M].北京:化学工业出版社,2004.
- [7] LEWIS D H, JANSON SW, COHEN RB, et al. Digital micropropulsion[A]. 1999 IEEE Micro Electro Mechanical Systems Conference Proceedings[C]. Orlando: IEEE, 1999, 517-522.
- [8] 冯伯森,王秋雨,胡玉兴.动物细胞工程原理与实践[M].北京:科学出版社,2000.
- [9] DENNING DE.信息战与信息安全[M].吴汉平,等译.北京:电子工业出版社,2003.
- [10] 陈宜生,周佩瑶,冯艳全.物理效应及其应用[M].天津:天津大学出版社,1996.
- [11] 章维一,侯丽雅.影响流体流动的方法及其装置和应用[P].中国:CN 1523239A,2004-08-25.
- [12] 埃尔费尔德 W,黑塞尔 V,勒韦 H.微反应器——现代化学中的新技术[M].骆广生,王玉军,吕阳成译.北京:化学工业出版社,2004.
- [13] KÖHLER JM, HENKEL T, GROFRIN A, et al. Digital reaction technology by micro segmented flow - components, concepts and applications [J]. Chemical Engineering Journal, 2004, 101: 201-216.
- [14] KÖHLER JM, KIRNER T. Nanoliter segment formation in micro fluid devices for chemical and biological micro serial flow processes in dependence on flow rate and viscosity [J]. Sensors and Actuators, 2005, A 119:19-27.
- [15] 吴德馨,王守武.微小世界——深亚微米结构器件和介观物理[M].长沙:湖南科学技术出版社,1998.

(责任编辑 苏 青)

·读者·作者·编者·

读者来信摘登

● 我是一位退休编辑,非常关心《科技导报》,希望通过贵刊追踪我国基础科学、实验科学和应用科学的前沿进展,同时了解当今世界科技发展的动态(如贵刊2005年第12期关于“烯烃的复分解反应——2005年诺贝尔化学奖成果简介”的报道)。衷心地希望贵刊随着我国科学技术的进步而进步,真正成为中国版的Science和Natural,尽早跻身于国际权威刊物的前列。作为中国重要的学术期刊,贵刊在保证内容丰富、学术权威的同时,我也由衷地希望你们在一些技术编辑的细节上做得更好。比如,论文中有关公式里的外文字母大小写、正斜体、计量单位等,都必须严格执行国家有关标准。尽管这项工作比较麻烦,但执行得好不仅保证了学术论文的质量,而且可为刊物增辉,反之,则将使刊物失色。附上我审读贵刊2005年第12期和2006年第1期所发现的一些编校问题,供你们参考。

——北京市阜成路8号《科技咨询导报》特约编辑赵克熙

● 《科技导报》2006年第1期和第2期关于美国著名物理学家亨利·奥古斯特·罗兰的“为纯科学呼吁”一文以及韩国“黄禹锡学术造假事件”的讨论,我认为很有意义。《科技导报》顾名思义,就应该起引导作用,不仅应刊登一流的学术文章,引领我国科学技术和科技期刊的发展,更应该引导我国良好的科研环境和学术氛围的发展方向。我希望贵刊每期都能利用适当的版面,就我国

科学技术发展中的某一个具有普遍意义的实际案例展开讨论,以促进我国科学、健康、合理的科研管理体制的形成,促进我国健康、良好的研究氛围和学术环境的形成。

——北京大学光华管理学院韩冰

● 贵刊连续3年刊登了我国年度重大科学、技术与工程进展的报道文章,尤其是今年第1期刊登的“2005年中国重大科学、技术与工程进展”文章,我认为选题和文笔都非常好,对我们全面了解上年度我国科学技术与工程各领域的重大成就及其意义很有帮助。希望今后也能刊登国际上上年度的重大科学、技术与工程进展的文章。另外,希望重大进展的遴选增加权威性,可设计一套科学、合理、全面的遴选程序;当然,以编辑部或本刊记者的名义也是一种可行的办法。但建议加强宣传,扩大贵刊这种特色文章的影响,通过长期坚持,必能树立权威,产生效应。

——中国科学院研究生院刘海生

● 贵刊2006年第2期第93页书评“借鉴国际经验,努力提升中国工业设计水平——《科技创造财富》序”中的书名,以及图书图样下方所列书名《科技创造财富》,与给出的图书封面图样上的书名《设计创造财富》不符。从书评的内容看,正确的书名应该是《设计创造财富》。这样的编校错误实属不应该。

——中国科学院东北地理研究所秋实