

非牛顿流体力学

陈文芳 (北京大学)*

范椿 (中国科学院力学研究所)

非牛顿流体力学是由流变学发展起来的一门分支学科,它研究非牛顿流体的本构方程、材料参数(函数)的测量和非牛顿流体的流动等。非牛顿流体不服从粘度的牛顿定律。高分子量的流体、中等浓度悬浮物的流体、软纤维和质点悬浮物的流体等都是非牛顿流体。非牛顿流体在化工、化纤、塑料、石油、轻工和食品等许多工业部门都有十分广泛的应用。

发展简况

1950年以前已经有很多描述非牛顿流体的本构方程,但用它们来描述一般流动情况下的流体是不够的,一般地说有两种类型:

(1) 剪切应力和剪切速率之比(不象在牛顿流体情况那样)不是常数,而是剪切速率的函数。这些方程在剪切流动中并不预示法向应力差,在有时效的流动中不能显示弹性效应^[1,2]。

(2) 线性粘弹流体只对于小应变的流动才有效,象小振幅振动流动。这种流体在有时效的流动中能显示出弹性效应,但其粘度是一常数^[3]。

现在一般认为,1950年奥尔德罗伊德(Oldroyd)的论文开始了现代非线性本构方程的研究^[4,5]。奥尔德罗伊德将线性粘弹性方程推广到非线性,推广后的方程能够解释某些非牛顿流体流动的现象,如象韦森伯格(Weissenberg)效应^[1,2,6,7]等。

诺尔(Noll)、埃里克森(Ericksen)、里夫林(Rivlin)和特鲁斯德尔(Truesdell)等人对非线性本构方程的现代发展也作出了贡献。

1976年沃尔特斯(Walters)等人创办了国际性的《非牛顿流体力学杂志》(*Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*),专门登载非牛顿流体力学的论文。七十年代后期出版了非牛顿流体力学、聚合物加工、伸长流动、化纤纺丝、化工稳定性和流变技术等非牛顿流体力学的专门著作。

学科内容

当前,国际上非牛顿流体力学中重要的研究领域有以下四个方面。

(一) 本构方程

本构方程最好用张量形式写出,它不但能满足对坐标系具不变性的原则,而且形式简练。对于不可压和各向同性的流体,其应力张量 S 可写成:

$$S = -pI + T,$$

式中 p 为标量, I 为单位张量, T 为偏应力张量。

非牛顿流体力学与牛顿流体力学不同,由于它不能用一种本构方程来适用各种流动情况,所以发展了各式各样的本构方程。

(1) 广义牛顿流体 这种流体没有弹性,但其粘度是剪切速率的函数,其本构方程如下:

$$T = \eta(\mathbb{I})A,$$

其中 A 为里夫林-埃里克森张量(应变率张量的两倍); $\mathbb{I} = \frac{1}{2}trA^2$,为 A 的第二不变量; $\eta(\mathbb{I})$ 为各种粘度函数。这里我们只举一个最常用的幂律模型:

* 陈文芳(C. F. Chan Man Fong)系英籍非牛顿流体力学专家,现为北京大学教授。

$$T = K |(\mathbb{I})^{(n-1)/2}| A,$$

其中 K 为模量指数, n 为幂律指数. 不少高分子聚合物溶液或溶体的 n 范围为 $0.8 \sim 0.15$.

(2) 具有屈服应力的流体 石油工业中的钻井泥浆和牙膏等物质具有一屈服应力 τ_y . 当剪应力低于 τ_y 时, 流体静止; 当剪应力超过 τ_y 时, 流体流动. 此种流体也称为粘塑性流体.

(a) 宾厄姆(Bingham)模型

$$T = (\eta_p + \tau_y / \sqrt{|\mathbb{I}|}) A \quad (\text{当 } \frac{1}{2} tr T^2 \geq \tau_y^2),$$

$$A = 0 \quad (\text{当 } \frac{1}{2} tr T^2 < \tau_y^2),$$

其中 η_p 为塑性粘度.

(b) 赫谢耳-巴克利 (Herschel-Buckley) 模型 这种模型是幂律模型与宾厄姆模型的综合, 其本构方程为:

$$0T = [K |(\mathbb{I})^{(n-1)/2}| + \tau_y / \sqrt{|\mathbb{I}|}] A$$

$$A = 0 \quad (\text{当 } \frac{1}{2} tr T^2 < \tau_y^2).$$

(3) 触变性流体 当施加剪切速率 $\dot{\gamma}_0$ 于凝胶漆等物质时, 剪切应力达到 τ_0 . 当 $\dot{\gamma}_0$ 保持时, 剪切应力可能随时间下降, 经过足够长的时间后, 剪切应力会趋于一个平衡值 τ_e . 故表观粘度不仅依赖于剪切速率, 还依赖于施加剪切速率的持续时间. 此种物质受到剪切作用时, 结构发生变化, 并导致表观粘度的变化.

它们的本构方程为:

$$\tau = \eta(\lambda, \dot{\gamma}) \dot{\gamma},$$

$$d\lambda/dt = g(\lambda, \dot{\gamma}),$$

其中 τ 为剪切应力, $\dot{\gamma}$ 为剪切速率, λ 为结构参数, $g(\lambda, \dot{\gamma})$ 在平衡状态时等于零; λ 在 0 和 1 之间取值, 当 λ 等于零时, 结构完全破坏.

(4) 粘弹性流体 这是非牛顿流体力学近二十年来重点研究的邻域. 可分为下列几种类型:

(a) 微分型方程 最常用的是二阶流体的本构方程:

$$T = \eta A + \beta_1 A^2 + \beta_2 \delta A / \delta t,$$

其中 β_1, β_2 为材料常数; $\delta / \delta t$ 为牵连导数, 有几种形式^[1], 这里采用如下形式:

$$\delta A / \delta t = \partial A / \partial t + (V \cdot \nabla) A + L^+ A + A L,$$

其中 $L (= \nabla V)$ 为速度梯度, 上标 “+” 表示转置.

此外还有三阶流体和更高阶的流体. 若 η, β_1, β_2 取为 \mathbb{I} 的函数, 则为广义二阶流体的本构方程. 二阶流体的本构方程比较简单, 广泛用于粘弹流体的许多流动问题的求解. 但这类方程在推导中忽略了高阶项, 故只适用于弹性小的流体, 以及流动慢并且流动变化也慢 (如简单的剪切流动、两同轴圆筒之间的定常流动和绕经光滑物体的蠕变流动等) 的情况.

(b) 隐含型方程 (或称速率型方程):

$$T + \lambda_1 \delta T / \delta t = \eta (A + \lambda_2 \delta A / \delta t),$$

其中 $\lambda_1, \lambda_2, \eta$ 为 \mathbb{I} 的函数, $\delta T / \delta t$ 采用如下形式:

$$\delta T / \delta t = \partial T / \partial t + (V \cdot \nabla) T - L T - T L^+,$$

当 $\lambda_1 = 0$ 时, 简化为微分型方程; 当 $\lambda_2 = 0$ 时, 则简化为麦克斯韦方程.

如果我们用摄动法求解, 并展成 λ_1 的级数, 那末最后得到的解和用微分型方程所得的解是相同的^[1, 6].

(c) 积分型方程 应用较多的是 BKZ (Bernstein, Kearsley, Zapas) 方程, 可以写成:

$$T = \int_0^\infty \{ m_1 C + m_2 C^{-1} \} ds,$$

式中 s 为时间间隔; C 为右相关科希-格林 (Cauchy-Green) 张量; C^{-1} 为 C 的逆, 也称芬格 (Finger) 应变. m_1, m_2 有各种各样的形式. 此外, 还有其他形式的积分型方程.

如果将 C 和 C^{-1} 在 $s=0$ 处展成 s 的幂级数, 则我们可以得到微分型本构方程^[1].

这样, 三种不同类型的本构方程之间是有关系的.

(d) 分子理论模型 两个刚体小球用弹簧或不用弹簧连接起来 (哑铃模型), 用流体力学定律可计算对此哑铃的绕流. 考虑到布朗效应, 可给出恒量地改变形状和位置的高分子链的取向或伸长的统计力学方法.

把统计力学的定律和弹性元的网络理论应

用于聚合物溶液^[9, 10], 即网络理论(类似于橡皮流体)。

(二)粘弹性流体的流动

流动问题是指由连续介质的运动方程和本构方程联立求解出粘弹流体的流动特性。

(1)测粘流动 考虑一个定常的简单剪切流, 其速度场为 $v_1 = u(x_2)$, $v_2 = v_3 = 0$ (其中 x_2 为坐标), 则流动由三个材料函数所表征:

$$S_{12} = \tau(\dot{\gamma}) = \dot{\gamma}\eta(\dot{\gamma}),$$

$$S_{11} - S_{22} = \sigma_1(\dot{\gamma}) = \dot{\gamma}^2 N_1(\dot{\gamma}),$$

$$S_{22} - S_{33} = \sigma_2(\dot{\gamma}) = \dot{\gamma}^2 N_2(\dot{\gamma}),$$

其中 S_{ij} ($i, j = 1, 2, 3$) 为应力张量 S 的分量, $\sigma_1(\dot{\gamma})$ 和 $\sigma_2(\dot{\gamma})$ 分别为第一和第二法向应力差。这种由三个材料函数所表征的流动叫做测粘流动。库特(Couette)和泊肃叶(Poiseuille)定常流动都是测粘流动。

测粘流动是粘弹流体中最简单的流动, 这项基础性的研究, 现已趋完善。

(2)伸长流动 这是粘弹流体流动的一个重要研究领域。纤维拉丝和薄膜吹塑基本上都是伸长流。渗流、收缩流和润滑流场都类似于伸长流。

设流动速度场为 $v_1 = kx_1$, $v_2 = -kx_2/2$, $v_3 = -kx_3/2$, 其中 x_i ($i = 1, 2, 3$) 为坐标; k 为常数, 即伸长应变率。应力分布为 $S_{ij} = 0$ ($i \neq j$), $S_{11} - S_{22} = S_{11} - S_{33} = k\mu(k)$, 其中 $\mu(k)$ 称为拉伸粘度。在数值为相对应的应变率 k 和 $\dot{\gamma}$ 时测得的拉伸粘度和剪切粘度的比值 $\mu(k)/\eta(k)$ 叫做特劳顿(Trouton)比。对于牛顿流体, 这个比值为 3; 对于粘弹流体, 它比 3 大得多, 并且不是一个常数, 而是一个 k 的函数。这样只知道剪切粘度 η 是不够的, 我们不能用它预示伸长粘度 μ 。

聚合物的纺丝流动就是一种粘弹流体的伸长流动, 在化纤工业的推动下, 不少科学家在这方面做了大量的理论和实验研究, 并取得了不少成果。

(3)收缩和发散流动 它介于测粘流和伸长流之间, 即使在简单的边界条件下, 也呈现

出复杂的流线分布和应力分布。粘弹流体与牛顿流体具有本质不同的流场。收缩流动的牛顿流体在中心产生惯性环流(小雷诺数无旋涡), 粘弹流体则在壁面产生环流(即使在某些可忽略雷诺数的情况下)。

塑料注塑、挤压成型等化工过程以及血液流动等生物过程都是它的工业背景。但由于此问题的复杂性使得一些科学家只能进行一些基础性研究, 虽已取得不少进展, 但尚需进一步努力。

(4)在湍流流动中阻力的降低[汤姆斯(Toms)效应]和通过多孔介质时阻力的增加, 能够用大伸长粘度作部分解释。这是在第二次世界大战期间发现的, 在牛顿流体中添加很少一点聚合物能导致湍流流动中阻力大量降低, 然而在层流流动中溶剂和溶液的流动性质几乎是一样的。这一发现在工业中已有广泛的应用^[11]。相反地, 对于多孔介质中的流动, 在牛顿流体中添加聚合物能导致阻力增加。在提高石油的回收率上, 这一现象已被应用。

(三)流动的稳定性

非牛顿流体流动稳定性在工业上有广泛的应用, 虽然它的数学处理比较复杂, 但现已获得一定的研究成果。

(1)在平面泊肃叶流动中, 粘弹流体的弹性使流动失稳。粘弹流体和粘塑流体沿斜面流动时, 弹性使流动失稳, 但屈服应力能增加流动的稳定性。后一结果对胶片挤压涂布工艺有用。

(2)粘弹流体在圆筒库特流动中: (a)小弹性几乎不影响定常流动, 而对流动稳定性的影响却十分显著; (b)弹性影响依赖于所选择的流体模型(本构方程), 对于某种流体弹性使流动失稳, 对于另一种流体弹性可增加流动的稳定性; (c)弹性影响主要依赖于第二法向应力差, 例如当两圆筒的间隙比半径小很多和第二法向应力差大于零时, 弹性使流动失稳, 小于零时正好相反。

此种流动在润滑中有广泛的应用。大部分

新型润滑剂都是粘弹流体。

(3)在聚合物熔体的加工过程中有两种不稳定性类型。

(a)在聚合物熔体的挤压成形中,当挤压速率增加时,挤出物的表面不再光滑,而产生有规律的波状图案。在聚合物熔体纺丝中,纤维直径产生周期振动。这种不稳定性类型称为谐振。

(b)在挤压成型中,当挤压速率进一步扩大时,变形也进一步扩大,直到最后图案消失,挤出物完全变样。在纺丝中,当收卷速度进一步增加时,熔丝断裂。这种不稳定性类型称为熔体断裂。

(四)测量技术^[3, 14, 15]

非牛顿流体的流变特性测量是学科内容的一个重要组成部分。

(1)粘弹流体最基本的测量在测粘流动中已经提到:(a)粘度随剪切速率的变化,即表观粘度的测量;(b)法向应力差的测量。

现已有各种型号的商品旋转流变仪器可测表观粘度,其中有些能测法向应力差。各种类型的商品管导粘度计只能测粘度。实验室自制的管导粘度计可测法向应力差。

(2)研究高分子材料的粘弹性性质时,广泛采用测量振动流动的方法,或称动态试验。有少数商品旋转流变仪器能进行这种测量。

(3)应力松弛是粘弹流体的重要特征之一。有少数商品旋转流变仪器能测量松弛时间。

(4)商品伸长流变仪器能测量聚合物熔体的拉伸粘度。

研究动向

一种新的分子理论模型和非牛顿流体的数值计算是目前国际上研究的新动向,值得我们注意。

最近德根纳斯(de Gennes)用蛇在管中的蠕动来描述聚合物微粒在一浓缩聚合物溶液中的运动^[11, 12]。这种运动称为蠕变。多伊(Doi)

和爱德华兹(Edwards)用这种概念建立了一种本构方程,这种分子新模型已为流变学家广泛采用。非牛顿流体的分子结构如用精确的数学描述那太复杂了,所以上述的分子模型都是近似模型。用分子模型得到的本构方程大多是BKZ模型的特殊情况,其中函数 m_1 和 m_2 用分子参数给出。这样,分子模型和连续介质力学模型正好相互补充。

把分子结构和力学性质的参数联系起来的好处在于可以按照所需的力学性能合成材料,这是合成聚合物发展的结果。

在非牛顿流体力学中应用最广泛的方法之一是摄动法。所求之解是在牛顿流体解上摄动,也就是牛顿流体解是零级近似解。所以正则摄动法通常只对轻微的粘弹流体有效。梅茨纳(Metzner)认识到非牛顿流体的伸长粘度可以是非常大的^[16],所以在某些流动区域中法向应力可以比剪切应力大很多。这样,在这些区域中,作为一阶近似的剪切应力可以忽略。很多复杂流动并不完全是伸长流或剪切流,但是在一些区域中一种应力比另一种更重要,这样可以寻找一个匹配渐近解。到目前为止据作者所知还没有这方面的工作。

随着高速计算机的出现,以及数值分析的发展,用数值方法去解决非牛顿流体力学中的流动问题是可行的^[17]。有限差分 and 有限元这两种方法已被使用,但对于高弹性流体的大多数情况还不能得到解。所以数值方法只是在一定程度上改善了摄动法。在求解高弹性流体的复杂流动中,探索一下奇异摄动法和数值方法的组合可能是有用处的。

展 望

在有用的牛顿流体中加入聚合物不但能改进它的性能,同时它也变成非牛顿流体了,例如,新型润滑剂和提高石油产量用的压裂液等等。所以非牛顿流体力学在未来将变得更加重要。

将来发展的领域可能是:(1)对本构方程

的研究,它既能相当好地描述非牛顿流体,又能用它来解复杂的流动问题,并足够简单;

(2)解流动问题的新方法(解析的和数值的);

(3)发展材料函数的测量方法,如伸长粘度等;

(4)伸长流是目前的重点研究项目,在工业上显得十分重要;

(5)在将来,非等温和多相流可能会成为重点研究项目。

可以预料,将来工程师将必须处理具有很复杂流变性质的材料。这样,变形介质力学的教学不应该只限于胡克固体和牛顿流体。

最后介绍一下非牛顿流体力学国内研究的简况。

1977年在全国力学规划会时,人们曾认为非牛顿流体力学是个薄弱环节,需加以发展,但由于缺乏具体措施,在规划会后没有多大进展。1980年以前国内只有零星的非牛顿流体力学研究,而且只处于初始研究阶段,研究内容基本上属下列两种情况:

(1)广义牛顿流体力学。没有考虑弹性的影响,本构方程简单,这样的流动问题虽比牛顿流体流动复杂,但比粘弹性流体简单,可作为研究粘弹性流体流动的基础;

(2)以工程需要为背景,配合一些实验研究,做半经验半理论的分析工作。

1979年四季度,陈文芳教授来中国,1980年上学期开办了一个非牛顿流体力学学习班。这次学习班推动了国内对粘弹性流体的本构方程及其流动问题的研究。现在参加第一期非牛顿流体力学学习班的人员中的多数已成为此研究领域的骨干力量。

1980年以后组织了以下几个非牛顿流体力学讲座。

(1)1982年1月在上海华东化工学院,由美国威斯康星大学的伯德(R. B. Bird)教授举行了一次讲座,参加人数超过三十人;

(2)1983年1月在北京大学,由陈文芳教授开办了一个非牛顿流体力学入门学习班,全国有一百多人参加,大多是研究生、讲师和工程师,收到很好的效果。

此外还有几个外国访问学者,如美国的怀特(J. L. White)教授和汉(C. D. Han)教授也在中国举行过非牛顿流体力学讲座。

1982年4月召开的第二届全国多相流体力学、非牛顿流体力学和物理-化学流体力学学术会议与第一届会议相比,非牛顿流体力学方面的研究进展是显著的。

在1983年10月召开的第二届亚洲流体力学会议上,中国宣读了八篇非牛顿流体力学方面的论文。

目前在中国,据作者所知,北京、上海、成都等城市都有单位对非牛顿流体力学有兴趣。有些单位已经派人出国学习和研究非牛顿流体力学,另一些则在国内专门研究非牛顿流体力学。有些单位还专门培养了这一领域的研究生。从上可以看出,非牛顿流体力学在中国已有一定的发展,但研究力量都分散在各个不同的单位各自进行,缺乏一个全国性的统一规划与领导。在国际上,我国只有零星的论文发表,形不成一股力量。要建立具有中国特色、特长的学派还需经过长期的艰苦努力。我们深切期望这一目标能在本世纪末达到。我们也愿为此而努力奋斗。

- [1] 陈文芳,《非牛顿流体力学》,科学出版社(1984)
- [2] Schowalter W. R., *Mechanics of Non-Newtonian Fluids*, Pergamon Press (1978)
- [3] Ferry J. D., *Viscoelastic Properties of Polymers*, 3rd Edition, Wiley (1980)
- [4] Oldroyd J. G., *Proc. Roy. Soc. (Lond.)*, **A200** (1950) 523
- [5] Truesdell C., *Rheology (Proc. VIII Int. Congress on Rheol., Naples, Italy, 1980)*, Astarita G. et al. ed., Plenum Press, Vol. 1
- [6] Bird R. B., Curtiss C. F., *Physics Today*, **37** (1984) 36
- [7] Nielsen L. E. (范庆荣, 宋家琪译),《聚物流变学》,科学出版社(1983)
- [8] Chen Yihong, Xu Yuanze, Chan Man Fong C. F., *Proc. of I Asian Cong. Fluid Mech. Beijing* (1983) 1044
- [9] Lodge A. S., *Elastic Liquids*, Academic Press (1964)
- [10] Bird R. B. et al., *Dynamics of Polymeric Liquids*, Vol. 2, *Kinematic Theory*, Wiley (1977)
- [11] de Gennes P. G., *J. Chem. Phys.*, **55** (1971) 572
- [12] de Gennes P. G., *Physics Today*, **36** (1983) 33
- [13] Sellin R. J. et al., *J. Hydraulic Research*, **20** (1982) 29
- [14] Van Wazer J. R. et al., *Viscosity and Flow Measurement*, Interscience (1963)
- [15] Walters K., *Rheometry*, Chapman & Hall (1975)
- [16] Metzner A. B., *Rheol. Acta*, **10** (1971) 434
- [17] Crochet M. J., Walters K., *Ann. Rev. Fluid Mech.*, **15** (1983) 241

次声信号对纤毛原生动物的生长率效应

沈持衡 林美英 张锡木
(厦门大学)

1983年春末到1984年春,我们曾试验次声信号对微生物、单细胞生物及海洋生物的生长效应,皆显示有良好结果.1984年夏专对单细胞生物作较详尽的试验,结果发现所试验的两种淡水原生动物,在受到次声信号处理后,皆能使生长率增加到40%以上.

1. 伪尖毛虫(*Oxytricha fallax*)次声试验
在培养皿内放400毫升无机培养液.起始虫密度:5个/毫升.饵料:唇鞭毛虫(*Chilomonas*).分对照与次声2组,每组2皿.次声频率5赫.液面声压100分贝 \pm 10%.培养2日后计数.然后重新取样培养.结果见表1.

平均差数 $\bar{d}=22.8$,平均增长率=56.7%.由此算出,在95%置信度下,置信区间为40.7~4.9,此区间不含零值.故统计效果显著.

2. 游仆虫(*Euplotes woodruffi*)次声试验
在培养皿内放400毫升无机培养液.起始虫密度:10个/毫升.其余条件同前.结果见表2.

平均差数 $\bar{d}=30.9$,平均增长率=39.5%.

表1 次声信号对伪尖毛虫的生长效应

序次	月/日	上午8时室温(℃)	对照组密度(个/毫升)	次声组密度(个/毫升)	差数 d	差数平方 d^2	增长率(%)
1	8/27	29	14	29	15	225	107
			16	38	22	484	137
2	8/29	29	55	72	17	289	31
			54	65	11	121	20
3	8/31	28	49	88	39	1521	80
			43	76	33	1089	77
4	9/4	28	76	81	5	25	7
			57	81	24	576	42
5	9/28	28	93	116	23	539	25
			91	128	27	1369	41
总计					228	6278	567

表2 次声信号对游仆虫的生长效应

序次	月/日	上午8时室温(℃)	对照组密度(个/毫升)	次声组密度(个/毫升)	差数 d	差数平方 d^2	增长率(%)
1	9/14	26	47	71	24	576	51
			50	74	24	576	51
2	9/16	26.5	44	57	13	169	28
			42	61	19	361	45
3	9/13	26.5	89	124	35	1225	39
			91	147	56	3136	62
4	9/21	27	125	149	24	576	19.2
			120	156	36	1296	30.0
5	9/23	27	111	145	34	1156	31
			112	156	44	1436	39
总计					309	10507	395.2

由此算出,在95%置信度下,置信区间为54.2~7.6,此区间不含零值.故统计效果显著.

(1984年11月30日收到)

编后

《非牛顿流体力学》一文介绍了由流变学发展起来的一门分支学科——非牛顿流体力学的发展简况、学科内容、研究动向和展望.作者陈文芳教授系英籍非牛顿流体力学专家,1979年来中国,几年来已为我国非牛顿流体力学的发展作出了贡献.作者还深切期望,在本世纪末能建立一个具有中国特色的非牛顿流体力学学派.

近三年来看来在地球上已找到了两块可能来自月球和火星的陨石.《来自月球和火星的陨石》一文就如何证认这两块陨石,以及对这两块陨石的具体研究成果作了详细的介绍.

人们喜欢把一些有重大意义的数学难题比喻为明珠.《数学规划理论的三颗明珠》介绍了线性规划的三个理论难题,并报道了这一领域的最新进展.

《试论普利高金的科学思维方法》一文,剖析了普利高金在创立耗散结构理论过程中所运用的科学思维“七步法”和各种优越的创造性思维的技巧因子,介绍了著名的“布鲁塞尔模型”等.此外,还论述了进化论观点和统一的观点对整个科学文化事业的指导意义.

单态氧,人们曾一度认为,它只有在天体物理学中有意义,而如今,人们发现它很可能是在涉及分子氧的物理、化学和生物学的过程中普遍存在的中间物.单态氧的研究不仅在科学史上有借鉴作用,而且在合成化学、生物学和医学方面也都有重要价值.《单态氧》一文介绍了单态氧的发现,有关单态氧产生机理的争论,以及目前单态氧的研究动态.

高分子物理是一门新兴的边缘学科,它主要研究高分子的结构和性能以及它们两者之间的关系,其目的是合理使用高分子材料和有目的地去制造各种高分子材料.《高分子物理》一文详细介绍了高分子物理的主要理论,诸如分子链构象、溶液理论和橡胶弹性理论等等,以及研究高分子的种种实验技术.

本期“静电科学”专栏中,《电流体力学》一文介绍了各种电流体力学现象的物理机理及其在技术上的应用概况;《静电分选技术及其应用》一文阐明了这项技术的基本原理以及矿物的直接传导荷电、电晕荷电、摩擦荷电这三种方式等;《防止石油静电危害》一文介绍了石油静电产生的原因、石油产品出现静电放电现象乃至引燃的条件及其防护措施.