

# 流 体 物 理 学 (I)\*

## 1. 引言与综述

流体运动的物理学的研究,即本文中的流体物理学,是物理科学的最古老分支之一<sup>1)</sup>。尽管它很古老,但它继续以随意选出的一些别致的问题使研究它的人们着迷。我们需要了解在我们周围流动着的世界,包括从穿越生物膜的性质到行星大气中出现的孤立波现象。为此,需要有长期不断的刺激力量和冒险精神。

流体运动可能呈现湍流的无规性和极大尺度的拟序结构,它对非线性动力学的新发展提供一个首要的实验基础。我们全都受到波状流体力学远距离联系的影响,这种联系环绕地球的热带海洋传递信息,经过非常之远的距离来改变全球的大气环流模式。受高效水下旅游规律支配的游动生物,为深入认识受环境变化的刺激而引起的生物进化途径或深入认识其中空白着的生物位置提供了条件。

与物理学的许多其他分支一样,流体物理学也从工程学中存在的重要问题获得驱动力。为了提高应用水平,例如飞行的性能,热机的效率,化工系统的生产率等,决定性的因素是我们对流体运动基本规律的了解。与历史上相比,现代工程机械中有些惊人的例子,可用来衡量我们在了解流体物理学方面进步的程度。由于将这些进步全部罗列大大超过本报告的范围,所以下面只给出少数例子。

带后掠机翼和无噪声发动机的现代运输机,是最近几十年中我们对高速流动了解的进步的反映。这些外形是过去的经验同最新的理论和概念相结合的产物,而我们对流体物理学的了解的进步则提供了可能性。现在的燃气轮机,虽然表面上象它过去的类似物,但它包含的重要改进,却是流体物理学许多成果提供的可能性。通过大量艰苦的研究,换来了我们对燃烧学和传热学知识的增加,这导致制出排气污染较低和关键部件寿命较长的发动机。借助于仔细分析流体的混合与传热,今天的许多化工厂所具有的生产量和生产效率,超过了它们仅仅10年前的几倍。这些例子说明,由于当今技术社会的激烈竞争,流体物理学基础知识已很快地从流体力学的研究转到应用。

在本报告的下面几节,我们将评述重要的近期进展,也指出今后10年将在哪些地方被迫提高我们对流体物理学的了解。几乎没有什么疑问,这些了解的提高将立即与技术革新相配合。

\* 美国 Panel on the Physics of Plasmas and Fluids; Physics Survey Committee; Board on Physics and Astronomy; Commission on Physical Sciences, Mathematics, and Resources 和 National Research Council 五个单位联合调研后撰写的“90年代的物理学:等离子体与流体”一书的第2章。译文将在本刊分3期载。——编者

1) 这篇流体物理学述评,限于流体运动是十分重要的领域,它只包括我们对与运动流体直接有关的液体和气体的性质及统计力学等方面的了解的进展。

我们也试图通过关于政府机构支持流体物理学研究的评论,得到一个估量这个领域研究计划的范围和水平的有用标准。然而,在下述意义上本评论不可能是应有尽有的:流体物理学研究的确定,其趋向随着基金机构的性质和任务的改变而显著变化;即使有时间,我们也没有能力探索私人工业在其支援下对这一领域经常作出的重要贡献。不过,这些研究对我们专家组尽力向基金机构和学术团体提出一系列调研结论和建议来说,已证明是很有用的。我们希望,这些研究将能使我们成功地支持和扩大物理学的这一重要领域。

在最后一节,我们感到,根据共同的现象把流体物理学分成各有特色的分支是有用的。虽然不一定唯一地分成这些分支,但当有人试图得到关于这一领域中各种活动的感性知识时,这些分支确实会提供方便。也有一些课题和领域是现在和将来感兴趣的,但并不明显强调分成有关现象的某些分支。所以,当所挑选的课题或学科领域更清楚地体现出依赖于许多现象的主要研究方向时,也要强调这些课题或学科领域。最后,有些基本技术手段对于推进流体物理学研究特别重要。因此,也概述了它们的现状和预期的发展。

总之,流体物理学依旧保持着对智力的刺激作用,因为它的问题在自然界出现而且很重要。另外,对复杂现象的了解的新的深度,进一步给予了这个领域以生命力。而许多这种了解,是由新的强有力的技术手段的进步所引起的,这些新手段使我们有能力掌握复杂现象的本质,这些现象是迄今看来似乎难以解决的奥秘。例如,湍流、复杂的高速流动、生物流动和地质现象等的研究,已经同强有力的计算技术与测试技术的进展并驾齐驱。我们展望今后的10年,那是一个激动人心的、冒险的和发现的时期。为了掌握许多重要的实际问题,合作关系对于把我们美国和全世界的幸福作为进一步的促进因素,真是太必要了。

## 2. 流体物理学的重大成就和机会

### 2.1 最近的重大成就

· 计算流体动力学的革命性研究成果,已用于解决以前理论分析与实验模拟难以解决的问题,例如太阳和行星大气层中的对流和环流,再入航天机轨道飞行器周围的非平衡流。在下述设计项目中,改进性能的同时节省了时间和费用,这些设计项目是:飞机机翼、内燃机、核聚变与核裂变装置、海面与水下运载工具的部件。此外,计算流体动力学还增加了我们对燃烧、化学反应、多相流动的了解。

· 分析方法、数值仿真和新实验手段,加速了高速流动中成功的步伐。在这些进展和紧迫社会需要的鼓励下,民用运输的效率,太空载人再入飞行器和高性能飞机的效率,都有了重大的进展。

· 近期的发展导致我们对湍流的了解有了振奋人心的改进,这提高了我们计算湍流特性的能力,并且对力学系统怎样能够呈现浑沌行为提供了新的洞察力。这种了解是通过新的测量方法同新的强有力的计算工具相结合而得到的。

· 对喷气噪声、声音衰减和湍流的量纲分析与近期理论上的了解,导致了使飞机前面发出的声能减少到千分之一,在机场附近减得最多,达到只能感觉到噪声的程度。

· 对稀释粒子及气溶胶悬浮体集体行为的了解已得到重大进展。已经推导出的新解法,适合于处理液滴的大变形和三个或更多粒子间的强相互干扰,并有应用到稠密系统的潜力。这方面的进展使我们有了新的洞察力,能够深入了解云的行为、流体分离现象、地质学上的岩浆房(magma chambers)、气候动力学以及血液之类的复杂流变流体。

• 现代地质学最重要的统一概念是，用流体对流来解释地球的上地幔运动。重要的本质已被证明的有：行星的演化，地震，火山，矿物与石油化工资源等。

• 在地球的海洋和大气层中，在木星和金星的大气层中，大尺度湍流结构和流体动力学拟序结构已被看成是等同的。用涡-分辨 (eddy-resolving) 计算机模型成功地对它们进行了仿真，使我们对实验室的湍流、总环流、风暴、大气层和深海的天气等方面有了新的概念。

• 在世界气候的研究中，已发现纯粹的波状联系。与热带太平洋的埃尔尼诺 (El Nino) 相类似，环流的变化是通过地球上很远的距离联系起来的，并严重地影响着刮风下雨。

• 已研究出单光子和多光子激励以及散射技术，用来研究如火焰等苛刻气体环境的能量预算 (energy budget)，这使我们首次看到内部复杂的化学反应流动。

• 用非侵入测试方法检测人体的血液流动声发射，或者用中性浮力探测器通过人造卫星跟踪海洋的瞬时环流与平均环流，这些方法的重要成果，增进了对流体流动现象的了解。

• 流体动力模拟把我们引入了新的基础知识领域，包括我们的心血管系统、生殖系统、泌尿系统和我们人体的许多内部器官，以及从单纤毛细胞到蜂鸟和金枪鱼等生物机体的运动。在设计人造器官、心血管移植、假体以及发展新的临床诊断方法等方面，流体动力学原理已成为必不可少的。

• 在诸如聚合物溶液和减阻剂等非牛顿流体的惊人的流动特性方面，以分子物理结构为基础的新的本构模型，使我们对这些流动特性有了较好的了解。

• 在化学物理学、流体物理学与光学物理学的配合作用下，创建了新的大功率连续激光器。这个成功的例子，使我们认识到放电激光器和其他气体介质激光器性能中流体现象的重要性。

## 2.2 重要的研究机会

• 我们对湍流特性和起源的了解将继续迅速地取得进展，其中包括研究有限自由度系统通往浑沌的途径，与连续不稳定即流体动力湍流之间的关系。

• 过去10年间物理学方面的了解加快步伐的结果，使我们有能力作出如下的鼓舞人心的改进：控制湍流流动并进而显著地改变它们的性质，得到新的减阻和减小噪声的方法，增加燃烧效率，控制分离、扩散与混合。由于我们有能力预言和控制有湍流区的流动，在技术上就将有可能得到重大的进展。

• 先进的计算流体动力学方法连同下一代计算机的继续迅速发展，将提供一个计算复杂的三维可压缩粘性流动并达到物理了解的新水平的机会。然后，有可能更有效地优化设计高性能飞机，改进凶猛暴风雨形成的预报，尝试预报全球的季节性及年度气候变化，符合实际地仿真或模拟行星与天体物理流体动力行为的基本过程。

• 以大功率激光器为基础的光学测试方法将得到发展，用来对流场性质如压力、温度、速度、组元浓度等进行迅速的多点测量。与迅速发展中的数值方法相结合，这些实验数据将得到处理而提供崭新类型的信息，同时增加大型实验设备的使用率。

• 在很多工程技术上重要的流体力学中，流动不是分离的就是非定常的，或者既是分离的又是非定常的。借助于现代测试技术和计算机化数据分析方法，我们正在开始了解这些流动类型的物理性质，并且常常考虑如何将它们结合起来，用于改进从心脏瓣膜到飞机等技术设备的性能。我们期望在未来的10年中，这些可能性将引出重要的研究任务。

• 在最近的将来, 燃烧和化学反应流动的复杂课题, 很可能产生引起重要应用的新的了解。对烟尘和其他污染物产生机理的了解, 将导致可以将它们予以控制。对化学动力学 (chemical kinetics) 与流体不稳定之间相互作用的了解, 将导致对爆燃和过渡到爆轰的了解。应用范围则包括从改进燃料的经济性能直到火灾消防工作的改进。

• 我们期望看到对多相流动系统的了解有重大的进展。这方面包括宏观与微观界面现象, 这些现象在工业和地质过程中都很感兴趣, 例如, 液体-液体界面的稳定性导致石油回采中的成指现象 (fingering) 发生, 导致海洋中对流过程的出现, 导致岩浆房中层状结构的形成。

• 较稠密粒子系统的行为将使我们日益增加兴趣。这种行为包括从有限粒子云的多粒子相互作用, 到更一般地通过多孔介质和过滤器的渗流作用, 这种渗流是以它们与多孔介质和过滤器的细观结构相互作用为基础的。

• 在细胞层次的基础上, 在存在分子力的情况下, 对生物流体动力学过程的研究中, 各学科的合作将促进对如下一些不同现象的解释, 例如, 孔隙和薄膜中的电动力学 (electrokinetic) 行为, 渗透的微结构, 细胞分裂, 细胞输运功能, 胶质水合作用, 细胞内组织基质内的流体运动。所有这些都导致基本的细胞生理功能的较好的了解。

• 日益增大的计算能力与数据处理能力, 将使我们能够消化并了解大量的数据集, 这些数据集是描述复杂的自然界流动现象以及人造装置中的流动现象所必需的。例如, 利用卫星和船载仪器, 现在已有可能研究全球尺度的海洋和气候动力学。应用 Lagrange 数学方法和随流体移动的仪器, 我们期待有下述方面的新看法: 湍流弥散; 边界层中波、湍流和平均流动之间的相互作用; 海洋-大气环流中波、湍流和平均流动之间的相互作用。

• 计及气体流动中分子运动的 Monte Carlo 计算方法的进展, 将继续推广到高密度流动, 并容许有意义地模拟高度非平衡化学反应流动系统。

### 3. 结论及建议

#### 3.1 主要结论

##### 3.1.1 支持机构

• 对流体物理学基础研究的支持来自广泛的不同的渠道。这种支持有强有弱, 不过这个领域很缺乏单独的全国性身分。尽管有一些共同的工程技术线索把流体物理学联系起来, 但对流体物理学基础研究的支持是混乱的和有限的。如果考虑到流体物理学在工程技术进步中的重要性, 以及它对了解自然现象作出贡献的潜力, 则流体物理学 (特别是有开创性的新研究方向) 是缺乏国家规模上的充分重视和缺乏基金机构在金额和连续资助两方面的支持的。

• 大部分研究团体不能很容易地使用许多极好的国家实验设备与计算设备。我们确认并赞赏美国政府致力于尝试使一些国家科研单位为外部研究单位提供使用研究设备的时间。其中包括: 国家航空航天局 (NASA) Langley 研究中心的跨声速风洞, Ames 研究中心的 40 英尺  $\times$  80 英尺风洞, 以及也在 Ames 的数值空气动力学仿真程序 (NASP), 在 Boulder 的国家大气研究中心 (NCAR) 的计算设备 (通过后二者提供计算机的使用机会)。无论如何, 我们认为, 这方面应当作得比现在要多得多, 这对研究团体及所属的设备两方面都是有益的。

##### 3.1.2 计算方法

• 贯穿在流体物理学中的许多数学方法与实验方法是常见的, 例如渐近方法与实验室流动模拟的使用。在过去10年里已形成一个新的认识, 即计算机及其应用的重要。其应用范围从迅速处理数据, 接着分析和显示它们, 一直到某些湍流的重要特性的直接数值仿真。对促进技术进步和增加了解自然现象来说, 这种扩大着的能力提供了很多研究机会。现在有可能用新的科学方法来对付那些重要但高度复杂的现象, 例如多相流, 它至今主要还是根据经验观点去处理。在过去15年里, 被研究和改进过的数学方法, 不但在促进复杂流动的基本了解方面, 而且在改进数值仿真结果的检验方法方面, 都日益成为重要的工具。在数值仿真应用于工程技术问题方面, 尤其是在飞机设计方面, 欧洲人已经很快地获得最新的高速计算机, 并在飞机设计中补充了最先进的算法。

### 3.1.3 测试手段

• 过去10年里, 以激光为基础的非侵入流动诊断设备的大量生产有惊人的增长。在这10年里, 与成像、数据存储和控制手段方面同样惊人的发展相结合, 我们已有了这样的开端: 流动诊断与计算流体动力学紧密配合将获得空前的进展。

### 3.1.4 教育

• 流体物理学正在爆炸式地扩展, 进入日益增多的交叉学科研究新领域。酸雨预报、气体激光器、血液流动以及海洋中生物的分布, 是流体物理学与化学、物理学、生物学强烈相互影响的例子。流体系统激发了对分叉理论、Lorenz 吸引子和混沌的研究, 这些方面在物理学和应用数学的研究中是很突出的。这些兴趣的多样性可以用来统一我们对流体基本行为的了解, 并且应当是大学教育中较重要的部分。在美国, 流体物理学的教育和大学研究, 主要是在工程学系和应用数学系进行的。去年, 美国物理学与天文学的博士论文中, 流体物理学方面只有1%, 等离子体物理学方面约有7%, 而工程学论文约占30%是与流体动力学有关的题目。在美国, 物理学必修课中对流体物理学的如此之不看重, 已经使物理学丧失了参加许多工程技术领域的研究的机会, 而这些工程技术领域产生了激动人心的许多新的基础问题。

## 3.2 主要的建议

### 3.2.1 研究的支持

• 面对这个领域里国家和知识界的需要, 我们主张成立一个机构, 对流体物理学方面的研究支持提供连续的调研结果。虽然我们在这里不能就这个机构的形式提出详细的意见, 但认为它应该提供信息, 这些信息对识别这个全国性重要领域的基础研究的范围将是有益的, 这些基础研究由于忽视而被遗漏了, 或者由于支持机构内有影响的人物认为不在本职范围而略去了。特别是, 有远大前途的新的研究方向应能较早地识别出。也应能发现那些接受过分重复支持的研究范围。

• 我们建议一个开创性的研究目标如下: 为了实质上同步地多点测量整个大体积中的流动特性, 要开展测试设备的研究和试制。这种设备的基础可能是激光全息摄影方法, 多层投影(层析X射线)法, 或者这些方法和其他尚未探索过的方法的结合。这些测量对流体物理学的许多全国性计划是很重要的。应该承认, 这些测试设备将是昂贵的, 因此, 为了研究团体的发展工作和最终应用, 不可避免地要供给他们足够使用的财力物力。

• 我们建议经费应得到保证, 并成立一些对大学和非政府团体的基础研究都可使用的全

国极好的流体物理学实验机构。为了使基础研究与紧迫的发展计划之间保持适当的平衡，为了保证这些实验机构有稳定的业务经费，直接分配时间和其他财力物力是必要的。

- 我们郑重建议，在支持流体物理学基础研究方面，扩大国家科学基金会（NSF）的作用，并特别强调，与工程科学有关的流体物理学基础研究应该得到它的支持。对大气科学与海洋科学计划应拨给流体力学研究基金。然而，在国家科学基金会的工程学董事会那里，却只有非常少的基金可用于流体物理学的基础研究。而在物理学董事会那里，则完全没有可以使用的基金。

### 3.2.2 教育

- 鉴于现代工程技术的很多领域中流体物理学有其普遍重要性，鉴于本报告所涉及的各种工程技术中有大量未得到解释的现象，我们郑重建议，在美国的大学物理系，考虑设置学生必修的流体物理学课程。我们类似地鼓励工科院校，考虑高年级大学生必修现代物理学课程。这将是加强物理科学与工程科学之间合作关系的一个重要步骤。

- 期望流体流动测试方法，特别是光学方法，将最近激动人心的进展继续坚持下去。很遗憾，这将引起我们大学里现有教学实验设备更加过时。要象其他科学领域的紧迫情况一样，最低限度必须对流体物理学现代实验设备单设专用的基金。

- 数值仿真与实验方法的进展，不应该使分析方法的根本重要性受到怀疑。分析方法在促进我们对复杂流动的了解方面已经起过作用，而且有助于计算流体流动的数值方法的发展和检验。

## 4. 政府的支持，人力，大学的研究

在流体力学与燃烧学方面，支持外部单位研究的主要机构是，空军科学研究处（AFOSR），陆军研究处（ARO），能源部（DOE），国家科学基金会（NSF），国家航空航天局（NASA），国家海洋与大气局（NOAA），海军研究处（ONR）。表1列出这些机构1983财政年度研究基金水平及其他内部业务经费。这些数字对基础研究的任一种定义当然是敏感的。它们只应该用作流体物理学经费的象征指标，而不是权威性的统计数字汇编。

对外部单位的研究支持，除NSF以外，通常约50%给大学，约50%给私人工业。这些支持水平是大概数字，而且仅仅名义上属于基础研究（例如国防部（DOD）6.1百万美元基金）。没有试图对独立研究与发展（IR and D）基金承包人得到的总数作出估计，或许这应该加进去。我们关于这些基金使用的经验使我们相信，实际上只有很小的数目有效地用于基础研究。同样，我们没有试图对这一领域里公司和其他私人的研究作出说明。

流体力学与燃烧学研究领域人力的估计，用假设每位主要研究人员平均150,000美元的办法可以得到。由此得出，从事流体力学研究的，相当于专职的主要研究人员约1000名，研究燃烧学的约250名。来自国家情报局（National Bureau of Information）的数据表明，在流体力学的一般领域中，每年约发表900篇博士论文。虽然这里给出的只是一些粗略的估计数字，但它们的确说明了这个领域里国家的显著作用。

空军（例如AECD以及莱特与帕特松空军基地（WPAFB）），NASA（例如Ames与Lewis），NOAA以及NSF支持着一些庞大的燃烧学与流体力学实验，它们的研究支持水平没有在上面出现，对这些机构的基金支持水平每年达到2.5亿美元左右。

表 1 1983财政年度流体物理学研究基金水平 (单位: 百万美元)

机 构	流 体 力 学		燃 烧 学		小 计		小 计		总 计
	对 内	对 外	对 内	对 外	对 内	对 外	流 体	燃 烧	
AFOSR	3.8	7.8	3.7	11.0	7.5	18.8	11.6	14.7	26.3
ARO		2.6		1.4		4.0	2.6	1.4	4.0
DOE		1.6		0.9		2.5	1.6	0.9	2.5
NASA	5	5	5	5	10	10	10	10	20
NSF (大气科学)		35 <sup>1)</sup>				35	35 <sup>2)</sup>		35
NSF (工程学)		6.2		1.2		7.4	6.2	1.2	7.4
NSF (NCAR)		25 <sup>1)</sup>				25	25 <sup>2)</sup>		25
NSF (物理海洋学)		14.6 <sup>1)</sup>				14.6	14.6		14.6
NOAA	10				10		10		10
ONR		14.5		6.6		21.1	14.5	6.6	21.1
NRL <sup>3)</sup>	6		1		7		6	1	7
总 计							137 <sup>4)</sup>	36	173 <sup>4)</sup>

- 1) 这些数字包括研究所在内的主要机构实际总数。
- 2) 这两个数字原在燃烧项下, 与文内说明及表内其他项目矛盾。——译者
- 3) 海军研究实验室。——译者
- 4) 原文总计有误, 已改正。——译者

支持水平的历史趋势是令人感兴趣的。两个重要的研究基金机构对流体力学的支持趋势示于表 2。在同一时期内, 通货膨胀以绝对优势压倒了一些支持可能作出的微弱的增加。

表 2 两个流体力学机构历史上的基金

机 构	财 政 年 度								以美元不变价格表示的变化 <sup>1)</sup>
	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	
NSF <sup>2)</sup>	3.4	3.5	3.5	3.7	3.5	3.9	4.2	5.4	-4%
AFOSR <sup>2)</sup>			9.2	9.2	10.2	11.3	11.6	12.3	-8%

- 1) 根据国民生产总值扣除通货膨胀后的绝对价格; 商业统计资料1982; 通用商业调查表, 1984年3月。
- 2) NSF机械工程与应用力学部流体力学规划, AFOSR航天科学董事会。

尽管在流体物理学有关业务方面有巨额经费, 但对于流体物理学中有创新精神的或自由选题的大学研究, 却只有有限的直接支持可以使用。例如, NSF工程学董事会机械工程与应用力学部的流体力学规划, 1984年度为每年5.4百万美元, 这对自由选题研究的支持来说是非常少的, 并且用通货膨胀调节 (inflation-adjusted) 的术语来说是压缩了的水平(表 2)。有许多流体物理学领域由于完全没有得到支持, 简直被大学的研究团体忽略了。在流体物理学方面每年发表的大量博士论文, 只是流体物理学渗透到许多自然界现象与人造现象中去这

(下转第78页)

- 4 Holzer A J. *Trans. ASME (H)*, **101** (1979): 231—237
- 5 Baraya G L, Johnson W, Slater R A C. *Int. J. Mech. Sci.*, **7** (1965): 621—645
- 6 Holzer A J. *Int. J. Mech. Sci.*, **20** (1978): 553—560
- 7 Kolsky H. *Proc. Phys. Soc., London, B* **62** (1949): 676—700
- 8 白井英治, 白樫高洋, 益子正己. 精密机械. **37**, 4 (1971)
- 9 Stevenson M G. 3rd North American Metal Working Research Conference, Pittsburgh (May, 1975)
- 10 Hauser F E. *Exper. Mech.*, **6** (1966): 395—402
- 11 赵西寰. 太原工学院学报, **3** (1981): 102—113
- 12 白井英治, 白樫高洋. 切削力学——从“描述”到“预测”的理论. 西北工业大学 (1973)
- 13 Stevenson M G, Aust F I E, Cleland D. L. High strain rate tests on two steels using an improved torsional Hopkinson bar apparatus, *Mechanical Engineering Transactions. The Institution of Engineers, Australia* (1981)
- 14 Lewis J L, Campbell J D. *Exper. Mech.*, **12** (1972): 520—524
- 15 Campbell J D. *Mater. Sci. and Eng.*, **12** (1973): 3—21
- 16 Woodward R L, Brown R H. *Proc. Institution of Mech. Eng.*, **189** (1975): 107—115
- 17 Hogate C R, Recht R F. 2nd Int. Conf. Center for High Energy Forming (June, 1969): 23—27
- 18 Nicolson F I. *Exper. Mech.*, **5** (1965): 29—32
- 19 Abou-Sayed A S, Clifton R J, Hermann L. *Exper. Mech.*, **16** (1976): 127—132
- 20 Clifton R J. Mechanical Properties at High Rates of Strain. *Inst. Phys. Conf. Ser.* **47** (1979): 174—186
- 21 Clifton R J. *Trans. ASME (E)*, **50** (1983): 941—952
- 22 Kececiglu D. *Trans. ASME (B)*, **80** (1958): 158—165
- 23 Finnie I, Wolak J. *Trans. ASME (B)*, **85** (1963): 351—356
- 24 Stevenson M G, Oxley P L B. *Proc. Institution of Mech. Eng.*, **185** (1970—1971): 741—754
- 25 Wright P K, Robinson J L. *Metals Technology*, **394** (1977): 240—248
- 26 Holzer A J, Wright P K. *Mater. Sci. and Eng.*, **51** (1981): 81—92

## TESTING METHODS OF DYNAMIC PLASTICITY

Wang Min-jie

(Dalian Institute of Technology)

**Abstract** The testing methods in dynamic plasticity are reviewed. The principles, the practical uses, merits and shortcomings of various testing methods are discussed.

**Keywords** *dynamic plasticity, testing method, strain, strain rate*

(上接第85页)

种事实的结果。对于富有创新精神的流体物理学基础研究来说，它们并不表示对自由选题研究的支持有高的水平。我们认为，这种局面是一种科学上和技术上的错误，会带来潜在的严重经济后果。

张德华译自: *Physics Through the 1990s, Plasmas and Fluids*. National Academy Press, Washington, D. C. (1986): 36—48.

(董务民校)