

物理力学的发展与展望

芮清泉

成都科技大学高温高压与原子分子科学研究所 (邮政编码610065)

关键词 物理力学

1 物理力学的提出与建立

物理力学是著名力学家钱学森于50年代初提出和建立起来的一门新兴学科。他编写了这方面的专著《物理力学讲义》，开创了这门学科的发展道路。物理力学的一些内容虽早已分散在其他学科中作了研究，但集中起来进行系统深入的研究，当成一门新兴学科加以发展，还是钱学森首先提出来的。这对力学的发展和现代化起了很大的推动作用。

什么是物理力学？它是研究宏观力学现象的微观理论的学科，是近代力学的一个分支。其目的是从构成物质的微观粒子（原子、分子等）的结构和相互作用出发，找出介质及材料力学性质等的计算方法，并对力学过程的微观机理进行研究，使力学问题的解决建立在微观分析与计算的基础上。它从物质的微观结构出发，跳出了传统连续介质理论框架，将宏观与微观结合起来使力学问题的解决可以不完全或不直接依靠宏观的实验来提供论据。因此它既是为工程技术服务的科学技术，又是使力学的理论向微观层次深化的基础性学科。

物理力学建立和发展的时代背景，主要是出现了多种有重要意义的极端条件下工程问题。例如核爆炸、宇航技术等，涉及的温度可高达几千度到上亿度，压力达 10^{15} 帕之大，应变率达每秒 10^8 — 10^9 等。在这样的条件下，介质和材料的性质很难用实验方法直接测定，需要利用从微观或细观结构出发来推算宏观性质的方法。此外在某些力学问题中，出现了远离平衡态或是特征尺度与微观结构的特征尺度可以比拟的情况，此时必须从微观结构分析入手处理宏观问题。又如由于连续介质力学理论在处理时间和空间尺度极小的问题时遇到困难，这就必须把这些问题放在原子尺度和原子中相互作用时间尺度上来解决。因此可以说，由于近代尖端科学技术的发展，面临着高温、高压、超高压条件下的材料性质问题，材料在各种射线作用下的问题，不能完全靠实验的方法，而急需建立理论计算方法，需要由微观结构设计出工程上需要的介质和材料。此外材料科学的发展需要提出能真正揭示出问题本质的指导新材料设计的微观理论模型和计算方法。加之近代物理学的发展，特别是原子分子物理及统计物理的发展，加上近代计算机和计算方法的发展，为物理力学的研究提供了良好的基础，使这门学科的建立和发展成为可能。

物理力学与物理学的研究方法很不相同。要特别注意：①虽然二者同样注意问题中的微

观机理分析，但物理学着重探索新的物理机理，而物理力学则主要利用已探索明白的物理机理结合实际问题，注意问题中的微观机理分析，认清问题的主要因素，提出适当的模型，便于分析计算。②注意运算手段，尽量使用高效率的计算工具，算出有用的结果。

1978年在制定全国基础科学规划时，钱学森指出：力学现代化的标志主要有两点：①尽量使用物理力学；②尽量使用高效率的计算机。这个论点阐明了物理力学在近代力学的发展上占有重要地位。

2 我国物理力学的发展过程

50年代初钱学森首先提出要建立物理力学这门新学科，并为美国加州理工学院的研究生开了这门课。1955年他回国后在中国科学院力学研究所成立了一个小组，做了一些理论准备工作，逐步扩大，到1965年发展成为一个有50人的研究室，初步建成一支有攻坚能力的研究队伍，并建立了一个初具规模的高温激波管实验室。1956年和1962年两次自然科学规划中都订入了这门学科，并列为重点。当时国内搞物理力学的还有吉林大学、中国科学院物理研究所、中国科学院东北物理研究所、哈尔滨军事工程学院及有关国防科研单位。在中国科学技术大学办了物理力学专业，先后培养了三届毕业生。当时这几个单位从事力学工作和从事物理学工作的人员密切协作，从各自的基础出发来进行物理力学若干问题的研究，在两三年内，在高温气体、高压气体、高压固体及高温辐射等研究方面，取得了可喜的成绩。在研究过程中逐步明确了以原子分子物理为基础来研究物理力学是很重要的方向。1966年2月3日在北京科学会堂召开了第1届全国性会议，是同原子与分子物理联合召开的，取名为原子分子物理与物理力学学术座谈会，提倡以原子分子物理为基础来研究物理力学，从而认识到结合物理力学的需要来推动原子与分子物理学的进一步发展也是很重要的。这是一个创造，对推动这两门学科的发展与结合，起了深远的作用。这次会议上宣读了论文40余篇，包括高温气体、高温辐射、高压气体及高压固体方面的内容，有些成果已被有关国防科研单位所采用。参加会议的一部分国防科研单位的代表，通过会议认识到，他们所从事工作的对口学科就是物理力学。因此，这是一次非常重要的会议。它促进了物理、力学、尖端技术的结合，明确了物理力学如何发展及其重要意义。

这次会议开幕式由芮清泉主持，钱学森在会上作了“如何从原子分子物理出发搞发明创造”的重要报告，提出了很多新思想、新观点，对推动学科的发展和人才培养起了很大的作用。老一代力学家和物理学家周培源、施汝为等参加了这次开幕式。西北核技术研究所的程开甲也参加了这次会议。

在文革期间，虽然处境十分困难，但仍有少数单位坚持工作，作出了成绩。如当时东北物理所对高温空气的辐射吸收系数进行了系统的理论计算，提供了有用的数据；吉林大学对高压固体状态方程和激光破坏机理进行了实验和理论研究，对若干种固体材料（石墨、岩石）的高压状态方程提供了实验数据；北京应用物理与计算数学研究所长期坚持高温高压下物性的研究，在爆轰波与激波物理的研究方面也取得了一系列成果；西北核技术所亦为工程需要展开了高温高压下气体和固体状态方程的研究，等等。

文革结束后不久，1978年在全国力学规划会议上，由芮清泉主持制订了这门学科的发展规划。首先决定在力学所恢复“物理力学研究室”，并争取分散到其他部门工作的物理力学工作者归队，同时招收研究生，培养新生力量。鼓励其他有条件的高等学校开展物理力学的

研究工作。1979年在吉林大学建立了“原子与分子物理研究所”，确定其方向为：侧重研究高温高压下的原子分子状态与相互作用以及辐射与吸收过程，并以此为基础研究高温高压下物理力学问题，大力培养研究生。1984年苟清泉主持在成都科技大学创建了高温高压物理研究所，现改名为高温高压与原子分子科学研究所，从原子分子物理出发，开展了高温高压物理力学和新材料的设计与合成的研究工作。与此同时，与西南流体物理研究所合作组建了“应用物理研究所”，建立了“动高压”、“静高压”、“高温激波管”及“新材料合成”四个实验室，装备了先进的实验设备，为物理力学的实验研究提供了较好的条件。这两个研究所先后开展了慢电子与原子分子碰撞散射截面的系统研究与计算工作。从原子间力出发，提出了一个新的物理模型，对LiH高压状态方程进行了理论计算。在有实验数据可比较的范围内，理论计算结果与实验结果符合得很好，而且计算的压力范围大大超过了实验所测的范围，并与其他采用很复杂的计算所得结果很符合。同时理论预言LiH在80万大气压附近将发生结构相变，由NaCl型结构转变为CsCl型结构，体积突然减小，这对材料的使用和设计很重要。这说明用物理力学的理论和方法进行状态方程的计算，简便可靠，十分有效。我们还从原子间相互作用出发，提出了计算氢原子集团 H_n ($n=3, 4, 5, \dots, 9, 13, \dots$)的构型和能量的方法，从而阐明金属氢结构存在的可能性。同时还提出了在高压下固体氢转化为金属氢的微观机理，并从理论上预言转化压力约在200万大气压左右。在实验方面初步开展了锰铜压力计的动高压标定，高纯金刚石的动高压合成，静高压对锰铜合金及铁、镍电阻率的影响，新金刚石材料的设计与合成，高温激波管的应用研究等。现正准备对LiH的高压状态方程用二级轻气炮来进行实验测定。这些实验都是按照物理力学的方法来安排和分析的。科学院力学所、物理所、吉林大学、国防科技大学、中国工程物理研究院、北京应用物理与计算数学研究所、航空航天部207所、科学院金属所等单位都相继开展了物理力学的研究工作。

1986年11月在成都科技大学召开了第2届全国物理力学学术会议，参加的人数100多人，提出的报告比较多，内容也比较广，标志着这门学科开始兴旺起来了，并成立了专业委员会，使这门学科进入了有计划有组织的发展阶段。国防科技大学成立了“原子分子物理与物理力学研究中心”，以原子分子物理为基础大力开展了物理力学的研究工作，培养了这方面的研究生，学术水平有较大的提高。科学院力学所物理力学室恢复工作以后，还开展了分子动力学的研究。有几个单位，如科学院的金属所、固体物理所、力学所等，系统深入地开展了固体材料力学性质的微观理论研究，进一步发展和深化了物理力学的研究。金属所还建立了国际材料物理研究中心，召开了几次国际会议，对进一步发展物理力学，加强国际学术交流起了很好的作用。

第3届全国物理力学学术会议是1989年4月在长沙国防科技大学召开的。参加这次大会的代表有100多人，论文70多篇。与上届相比水平有所提高，特别是青年同志的报告有明显增加，展现着物理力学的发展后继有人。第4届全国物理力学学术会议于1990年10月6—9日在合肥中国科学院固体物理所召开，特邀了12篇大会报告，出版了含72篇论文详细摘要的论文集。论文质量无论在理论深度和广度上均比以往几届有明显提高，内容涉及状态方程、固体强度的微观理论、固体缺陷和固溶体的电子计算机模拟、高压相变、激光与材料相互作用破坏机理研究、高温气体辐射和反应流，纳米固体材料的力学性质以及物理力学计算中的原

子参数等。

从上述几届全国物理力学会议的内容来看,我国物理力学的发展方向已经形成。特别由于1978年规划的指引和推动,我国物理力学队伍不断发展和壮大,经过10多年的艰苦努力,使这门学科取得了可喜的进展,形成了下列一些重要研究方向:①固体材料力学性质的微观理论;②力学问题的分子动力学模拟;③高压固体状态方程与高温气体性质;④辐射输运及辐射流体力学;⑤激波物理及爆轰波物理;⑥激光、粒子束与材料相互作用动力学研究;⑦物理力学计算中的原子分子参数研究;⑧新材料的原子分子设计。

对以上这些方向都开展了若干具体研究,取得了一些重要成果。与60年代相比,多增加了一些方向,学术水平也有所提高。例如①,②,⑥,⑧这四项就是新开辟的研究方向。无论是宇航飞行还是各种粒子束武器(包括激光武器)等高新技术,以及国民经济的发展,都需要以上这些方向的研究成果为基础。可见物理力学确实是能够为国防建设和国民经济发展服务的。

3 我国物理力学发展的特点

物理力学的建立和发展需要力学工作者和物理学工作者的密切合作。钱学森非常重视这一点。经过他的宣传与呼吁,在60年代初吸引了一大批物理工作者,特别吸引了一部分原子分子物理方面较高造诣的研究人员参与工作,使工作进展较快,形成了我国物理力学发展的特点。

要以原子分子物理为基础来研究物理力学问题,已是1966年2月北京第1届会议上明确了。这是总结我们60年代初的研究工作而得出的结论。当时我们从原子分子物理出发研究高温气体中的慢电子碰撞,高压固体状态方程,高压气体的性质等都取得了比较好的成绩,这促使我们明确认识到要解决好物理力学问题,没有很好的原子分子物理基础是不行的。物理力学要从微观出发来分析研究宏观性质问题,而这里所说的微观主要是原子与分子结构层次。这就是说,要从原子分子这一微观层次出发来分析研究物体的宏观性质。从学科上来说,就是要从原子与分子物理过渡到物理力学。原子分子物理与力学结合产生了物理力学这门新兴的学科。这是理工结合产生新科学技术的一个重要例子。

为了进一步发展物理力学,原有的原子与分子物理并不够用,尚需针对物理力学发展的需要发展应用原子分子物理。钱学森很重视这一点。他看到《原子与分子物理学报》的创刊号后,给我写信,提倡发展应用原子分子物理,使之成为工程师设计产品的工具,发展原子与分子工程,希望有一群原子与分子物理学家转为原子分子工程师。我认为他的这个意见很重要,因此把他的信公布在《原子与分子物理学报》1987年1月第1期上。建议大家看一看。根据钱学森的提倡和高新技术发展的需要,成都科技大学最近与中国工程物理研究院西南核物理与化学所联合建立了“原子与分子工程研究所”,积极开展这方面的研究工作。

4 结论和展望

我国的物理力学发展,从钱学森在50年代初提出算起,已近40年。其中虽然遭受“十年动乱”的冲击和各种干扰,物理力学队伍仍然在发展壮大。对物理力学感兴趣的人不是少了而是在大大增加。相继建立了若干研究基地和研究中心,做出了不少重要成果。方向有了拓宽,学术水平有所提高。大力培养研究生,成长了一批新生力量,学科发展后继有人。

物理力学的发展大致可分为两个阶段。从50年代到70年代初,主要集中在高温高压下介

质材料的物理性质研究。这是因为流体介质方面的统计热力学理论已比较成熟，且原子分子物理又提供了比较充分的基本数据，因此有条件开展这方面的工作。例如，高温气体的热力学与输运系数以及辐射性质的研究同高超声速气体动力学的发展及核爆技术的需要密切相关。用从微观到宏观的理论计算方法已获得了高达几十万度甚至上亿度的高温气体的性质。又例如，由于工程上和强爆炸力学之需，开展了高压固体状态方程的研究。由于甚高压下介质的性质可以当作流体，而压力高达几十帕到 10^{15} 帕下的固体，原子之间的相互作用仍然可以在原子分子理论的基础上加以处理，通过由微观到宏观的计算获得了成功，并把所获成果应用到工程上，证明了物理力学方法的有效性。

70年代以来，新技术和高技术又有了长足发展。激光的出现以及激光在工程上的应用，提出了一系列新的力学问题。在这些问题中至少在激光照射的能量沉积过程中就存在着许多瞬态过程，而这些过程涉及高温高压状态以及同强辐射的相互作用问题。对这些过程不能直接由连续介质理论入手处理，只有基于微观理论去认识这些过程，对问题进行研究，才能过渡到以连续介质力学方法处理这些问题。固体力学的发展，在材料本构关系、强度与断裂方面，建立了一套包括损伤力学、断裂力学等全新的科学方向。这再次激发人们要发展微观理论、细观力学和宏观理论，即发展多层次的理论。材料力学性质的微观理论是在原子与分子层次上的研究，当它与材料性质联系起来，并借助于其他层次的理论，就可对材料力学性质进行预测，最终成为能指导材料设计的原子分子工程。由于能够从原子与分子尺度上去观察细致的过程，人们有希望对那些远离平衡的过程进行深刻研究。这些过程所涉及的问题有激波波阵面结构、爆轰波结构、燃烧锋面结构，以及界面或细小亚结构附近的流动、变形与破坏过程等。在那些远离平衡的力学现象中已给不出宏观的唯象参数和唯象规律，因此微观描述就成为唯一可行的办法。大规模微粒子、微缺陷在外力下的运动产生的向宏观力学现象的过渡，也还有待于建立合适的统计模型。

实践已证明，物理力学40年所走过的道路和方向是正确的。第4届会议上的报告以及在《力学进展》本期和下期上发表的几篇综述性文章，说明了我们的过去并展望了将来。在浩瀚的科学海洋里，这只是沧海一粟，对物理力学发展的概括也是挂一漏万。但这毕竟是我们的历史，并且表示了我们将要如何走下去和我们所希望达到的目的。

根据新技术和高技术发展的需求，预计今后10年我国物理力学的研究，将在材料力学性质的微观理论，高温高压条件下物理性质的研究，激光与物质相互作用机理的研究，以及新材料的原子分子设计，等等方面，会取得较大进展，做出良好成绩。相信今后这门学科在我国会有一个更大的发展，形成有我国特色的研究基地和一支强有力的研究队伍，对新技术高技术发展的需要作出重要贡献。

DEVELOPMENT AND PROSPECT OF PHYSICAL MECHANICS

Gou Qing-quan

Institute of High-Temperature High-Pressure and Atomic and Molecular Science

Keyword *physical mechanics*