

爆炸力学国外情况简介

中国科学院力学研究所二室国外资料调研组

一、概 况

爆炸在很短的时间内产生高温高压的气体。炸药，核的聚变和裂变，强脉冲电流作用下的金属丝，高速条件下的固体碰撞，大功率、高能量密度的激光，都能产生爆炸。

爆炸气体作用于周围的介质，产生冲击波，引起变形、振动和破坏，以及相变、光和电磁效应等多种类型的运动，人们广泛地应用爆炸于军事和工农业生产的目的。

爆炸力学是研究爆炸对周围环境力学作用规律，特别是冲击波的产生、传播和作用规律的学科。为了弄清楚这些规律，还需要对爆源进行研究。爆炸的一个主要特点是高压、高温和瞬时，从而区别于其他力学问题。它是一门边缘学科，与超高压物理、物理力学、计算技术以及各种工程技术有密切的联系。

目前在实验室研究中，最高的压力，最强的磁场，都是利用炸药实现的。激光已经成为研究爆炸现象的一个新的能源。在自然界中也存在着许多有待研究的爆炸现象，这在宇宙演变，星球的形成与衰变过程的研究中尤为突出。

爆炸力学也是应用性很强的一门学科，与国防建设和工农业建设有广泛的联系，突出表现在以下几个方面：

1. 核武器效应，核武器的发展和应用；核爆炸的防护。
2. 各种常规武器的发展，例如穿甲弹和聚能破甲弹的终点弹道问题。
3. 爆破技术广泛应用于土建工程、矿山和水利建设以及交通运输等，如定向爆破筑坝，开挖路堑，凿通隧道，剥离矿山，疏通航道等。
4. 应用于机械、航空、石油、冶金、造船等工业中的爆炸加工和爆炸合成技术，如爆炸成形各种零件，爆炸复合金属板，爆炸合成金刚石等。

二次世界大战推动了爆炸问题的研究，形成了爆炸力学的基础。50年代前后发表的一些总结性书籍反映了二次大战时期的发展。以英、美为例，代表性著作有以空中原子爆炸为中心内容的《冲击波流体动力学与爆炸波》(Shock Hydrodynamics and Blast Waves)，以水中常规炸药爆炸为中心内容的《水下爆炸》(Underwater Explosions)，以常规炸药为中心的《高能炸药的科学》(The Science of High Explosives)。这一时期还实现了炸药的收缩爆炸，形成了塑性动力学和聚能射流的理论基础。许多知名人物参与了这些工作，如物理学家贝蒂(Bethe)，数学家冯·诺依曼(von Neumann)，贝尔克霍夫(Birkhoff)，力学家冯·卡门(von Kármán)，泰勒(Taylor)，谢道夫(Седов)，化学家克尔克伍德(Kirkwood)，基斯加考斯基(Kistiakowsky)，库克(Cook)等。

二次世界大战结束到现在，美帝和苏修为了侵略和扩张，称霸世界，实行核威胁和核讹

詐政策，大力发展核武器、洲际导弹及宇宙航行的研究、试验与生产，另一方面又不断革新与改进各种常规武器，因而从空中到地下，到水下，爆炸力学有了很大的发展。例如在波的传播问题上，如果说，以前的重点是在一般气体介质中的波的传播的话，那么现在已经扩大到极高压、极高温条件下的爆炸气体动力学和爆炸流体—弹性体动力学方面来了。相应地，对高温、高压和高速变形条件下物质的力学性质进行了深入的研究，并取得了实质性进展。实验与观测技术的发展和高速电子计算机的发展是取得爆炸力学近期巨大进展的重要条件。

我国于1956年曾进行近万吨的矿山大爆破。大跃进期间，实现了几处定向爆破筑坝，并开展了爆破的试验、观测工作，同一时期又开展了爆炸成形的研究工作。1962年在力学规划中制订了“爆炸力学”的中心问题。为了打击美帝、苏修的核威胁、核讹诈政策，为了打破核垄断和最终消灭核武器，我国工人、人民解放军和科学技术人员，在毛主席无产阶级革命路线的指引下，群策群力，自力更生，1964年就成功地爆炸了第一颗原子弹，之后又接连爆炸了氢弹，发射了卫星，实现了地下核试验。我国历年都有相当大规模的爆破工程。1971年由我国自己设计，进行了万吨以上的矿山大爆破，并在实践与观测的基础上积累了不少有关爆破的经验与资料。爆炸成形在一些工矿单位中已经得到应用，为提供尖端技术和其他工业所需的产品做出了贡献。结合爆炸成形，在理论和试验技术上有一定成果。我国在爆炸力学方面的研究工作是成绩的，但距离形势发展的需要，距离国际先进科学技术水平，还有不小的差距。

二、国 外 情 况

以下分六个方面介绍国外在爆炸力学方面的进展情况。

(一) 空中爆炸

炸药爆炸时在空中引起冲击波，对周围结构有强烈的破坏作用。接近地面爆炸时，还在地面形成爆炸坑，在地下产生应力波，能引起地下结构的振动和破坏。核爆炸的当量远大于一般炸药。大的炸药包以吨计，而核爆炸的当量则以千吨或百万吨计。除了表现为空气中的冲击波和地下应力波外，空中核爆炸还有强烈的热辐射、光辐射、伽玛辐射、中子辐射等，在核弹碎片及由爆炸带入空中的尘埃中有放射性物质，这些都有杀伤作用。

40年代末到50年代初，提出了点源爆炸的自模拟理论，解决了核爆炸火球扩张的规律和点源爆炸条件下强冲击波理论问题。这项理论工作是在美、苏、英独立进行并且几乎在同一时期内完成的。上述自模拟理论不能应用于超压较低的情况，而且由于完全忽略了火球与冲击波的有机联系，也不适用于超压很大时的情况。

因此60年代到目前，对空气中爆炸波的研究主要在以下几个方面发展：

1. 点源爆炸的非自模拟解：这里主要的问题是解决反压（即静态原始压力）对冲击波传播的影响。目前这个问题已经用摄动法或电子计算机数值法解决了。
2. 非均匀大气中的点源爆炸波理论：之所以提出这个问题，是由于爆炸当量增加时，必须考虑大气不均匀性这个因素。目前，当不均匀性可以做为小参数时，可用近似方法对冲击波的传播作出修正，但精确解依赖于计算机的使用。
3. 爆源的有限性对爆炸波的形成和传播的影响：对于普通炸药爆炸，魏肯(Wecken)

首先发现,当炸药中的爆震波到达空气界面并进行反射时,爆炸产物中发生收缩击波,从而解释了空气中的冲击波具有双波结构的现象。之后,布洛德(Brode)应用电子计算机,考虑空气的非理想性质和炸药的爆震特性,对几种炸药所产生的冲击波进行了具体计算,并给出了数值结果。后来,布洛德又给出了炸药在球形空腔中爆炸后,冲击波在空腔壁多次反射的结果。

核爆炸条件下,火球—冲击波的形成和发展规律比较复杂,因为压力和温度都很高,气体发生分解和电离,力学过程和电磁效应耦合在一起。贝蒂和布洛德曾给出一些关于火球运动的研究结果。在高空爆炸条件下,问题更为复杂,因为还需要考虑气体分子运动的因素和各种非平衡态的物理、化学过程。文献中关于稀薄气体中的爆炸问题有所报道,但是看来模型比较粗糙。这方面的代表性著作有泽尔多维奇所著《冲击波物理与高温流体动力学现象》。总的来说,核爆炸条件下的火球—冲击波问题尚待进一步研究。

附带说明,点源爆炸理论不限于研究空中爆炸,如果把电磁场的影响,重力场的影响,化学反应的影响考虑进去,就能把这种理论应用于激光作用、星球爆炸、炸药爆震等范围广泛的问题上去(参看:考拉别依尼可夫, Gas Dynamics of Explosions, Annual Rev. of Fluid Mech., vol. 3, 1971)。

关于冲击波作用于物体时的反射问题,原则上已经没有什么问题,而且当超压不太高时,大都可以用模型实验(各种类型的击波管)或现场测量来解决。理论计算只有在若干简单情况下才能得出具体结果,较复杂的问题需要靠电子计算机计算。

在火球辐射作用下,地面温度骤然升高,形成所谓热爆现象。近地面处空气中的尘埃多,温度高,这对击波的强度是有影响的,特别是动压显著增加,因而对地面结构物的破坏作用大为增加。美帝核试验时,曾在不同的介质表面(沙土、沥青、水)上测量热层对冲击波参数的影响。在理论上也进行了一些工作,但发表的资料不多。

(二) 水下爆炸

除了用于军事和防护目的外,水下爆炸还可应用于爆炸成形、爆压测量等目的。

美帝在二次大战中,海军戴维·泰勒模型水槽(David Taylor Model Basin),海军军械实验室(Naval Ordnance Laboratory)等进行了大量的系统研究,其报告有的直到最近才陆续解密发表。50年代出版的库尔(R. H. Cole)所著《水下爆炸》一书总结了这个时期美国的研究成果,给出了水下爆炸的一些基本参数和爆炸现象的一般介绍。二次大战以来有关部门继续进行研究,内容大致有以下几个方面:

1. 水下爆炸载荷的研究(包括爆炸所引起的冲击波,爆炸气球的运动和所发出的压力脉冲,水面、沙石底、刚壁的边界效应,水浪等)。
2. 水下爆炸对结构物的影响。
3. 水下爆炸的模拟试验与测量技术。

美国海军军械实验室在研究冲击波方面,美国海军土木工程实验室(Naval Civil Engineering Laboratory)在研究水浪方面做了不少工作,有的还比较细致。例如1970年美国海军军械实验室的斯特恩波格和沃克(H. M. Sternberg和 Walker)用人工粘性法计算球形药包爆炸所引起的运动和能量分配,给出了主击波扩展到一百倍药包半径前的详细情况。最近还有人计算水面爆炸的情况。美国的研究工作经常发表在AD报告中。

苏联在小型模型实验方面的工作做得比较细致,并不断有所报道。例如苏联科学院新西

伯利亚分院化学物理研究所的赫利斯多佛罗夫(Христофоров)最近十年来,利用小型压力探头(直径一毫米左右)和高速摄影机,实测水下爆炸的压力场和冲击波在各类界面上的反射情况。苏联的研究工作大多发表在《应用力学和技术物理》(ПМТФ)以及《燃烧和爆炸物理》(Физ.Гор.и Взр.)杂志中。

由于计算技术和测量技术取得飞速的发展,以及在爆炸研究领域关于爆震参数和各种介质的状态方程的研究取得新的成果,所以水下爆炸的实验与理论研究,比起二次大战时期做得更为精确。

对于爆炸后期的气球运动和爆炸所引起的波浪方面的研究,由于涉及重力作用,而重力模拟只限于小型试验,且设备庞大,因此这方面的理论研究任务也更重。

按照当前计算技术的发展水平,已经有可能对水下爆炸对结构物的影响进行较深入的分析,但是这方面的报道很少。

(三) 地下爆炸

1. 地下深层爆炸:这类爆炸在地下进行,不产生漏斗。这是一个时期以来,美帝、苏修发展核武器的主要试验方式。

从爆炸力学角度看,需要研究和解决的主要是爆炸点周围冲击波参数,空腔直径,压碎区和断裂区直径的计算,“烟囱”高度的计算以及应力、应变、位移、速度、加速度的测量等问题。

通过试验,美帝已经取得宣武岩、凝灰岩、花岗岩、沉积岩、盐矿里核爆炸所形成的空腔直径与烟囱高度的许多数据,整理出初步的经验公式。美帝还进行了多方面的动态测量,但发表的数据极少。

现场测量存在着许多问题,特别是在应力或应变测量方面。如果说,由于载荷作用时间比较长,因而可以忽略应力或应变探头的动态匹配问题,那么静态匹配问题仍然存在,这就要求有比较准确的标定手段。这个问题似乎还没有很好解决。

在模型试验方面,美帝曾用玻璃、薄胶泥(其力学性质可根据配方,模拟天然岩石),盐和金属作为模型材料。用玻璃作模型材料时,曾用干涉条纹(Moirie干涉法),测量出冲击波后的应变分布。

在理论计算方面,美、苏、法都发表了一些文章。在药室附近,冲击波压力很大,因此介质处于流体状态,较远的地方,仍属固态。在早期发表的工作中,都是把计算分为两个区域,即流体区和弹塑性区,而两个区域的分界是以某一压力峰值人为决定的。60年代以后,逐渐采用了统一的流体—弹塑性模型。有的计算结果同实测结果和模型试验结果进行了比较。计算结果能定性地反映实际情况,但从定量角度看,有待改进的方面还很多,特别是在所谓弹塑性区和破碎区。这是因为还没有充分弄清楚岩石在这种条件下的力学性质。因此地下爆炸的力学模型尚待进一步研究解决。

美帝发表的资料只限于“犁头”计划,更大量的军事研究情况未见透露。“犁头”计划对地下核爆炸的利用提出以下几个方面:(1)在地下破碎油页岩,就地提取石油;(2)在地下破碎铜矿石(因品位低,用通常方法开采在经济上不合算),就地沥取;(3)利用地下爆炸形成的空腔和破碎区,增产天然气或开辟水源等;(4)利用地下爆炸形成的空腔储存石油、天然气、水等;(5)生产同位素;(6)进行地球物理、核物理方面的科学研究。

2. 地下浅层爆炸和地面爆炸: 地下浅层爆炸工程实践的历史比较长, 经验也比较多, 炮弹和炸弹弹坑、洞室爆破剥离矿山、开挖路堑等都属于这一类。各国都有一些经验公式, 用以在一定埋置和石质条件下计算药量、漏斗大小、破碎区大小、抛掷方量和抛掷距离等。随着工程规模的增大, 特别是核炸药的出现, 过去的经验公式已经不够用了。因此, 十多年来, 对核炸药和常规炸药的爆破规律进行了许多实验, 理论研究水平也有显著提高。

“犁头”计划包括多次常规炸药与核炸药的漏斗试验, 并观测了鼓包运动和抛掷情况。试验有单药包的和多药包的。例如1968年3月, 同时起爆成组核炸药, 形成宽266呎、深65呎、长850呎的沟。最大单药包平地扬奔试验为104千吨, 在沉积岩中进行, 形成直径为611呎、深323呎的可见漏斗(1962年“轿车”试验)。常规炸药漏斗试验最大装药量为二百万磅(苏联最大的是一百万公斤)。

爆破工作中一个重要问题是, 如果漏斗尺寸按比例放大, 药量应当怎样随深度变化。苏联曾建立重力模拟设备来解决这个问题。美帝根据“犁头”计划的试验, 提出药量正比于埋深3.4次方的经验公式, 但同时指出, 由于介质的差异和核炸药与常规炸药的区别, 这个模型律只限于当量为二百万磅以下的单药包。

对于爆破过程, 提出了冲击波作用、鼓包形成和抛掷过程的计算模型。与计算技术相结合, 能够对单药包的作用进行比较细致的分析。但是由于对地应力的情况不够清楚, 地质情况复杂, 而且对过程的一些环节如断裂还不够清楚, 因此所发表的结果仍然是定性的。

地面爆炸在防护工程中是个比较重要的问题。布罗德曾计算过当量为百万吨级的地面爆炸, 计算结果表明, 在垂直于地面 45° 锥角范围内, 冲击波基本上是球面的。地面爆炸(水面爆炸也一样)中的一个重要问题是, 有多少能量进入地下, 多少能量进入大气。这个问题看来目前还没有定论。美帝最近发表了一些关于常规炸药包在金属表面上爆炸时的试验与理论计算结果, 表明至少在这种情况下, 可以用理论计算较准确地算出漏斗尺寸, 至于地面运动情况, 实验结果与理论计算只是在运动初期才相互吻合。

美帝十几年来曾研究利用核炸药开挖运河和修建海港(“犁头”计划的一部分), 并曾对某些工程进行勘探设计。但迄今为止, 并未见诸实施。苏修、法国在所谓和平利用核爆炸方面也有类似的报道。据称, 在合理选择埋深的条件下, 可以防止大量放射性物质的逸出, 使放射剂量低于规定的数值。

(四) 超高速碰撞、聚能射流及穿甲问题

这类问题首先是从枪弹炮弹的穿甲问题开始的。目前穿甲弹速度已达1.5—1.7公里/秒。第二次世界大战中发展了聚能射流破甲弹, 它的射流速度可达7—8公里/秒。另外尚有碎甲弹、榴弹等。增加弹丸的侵彻能力或威力, 提高装甲的抗侵彻能力, 是要研究解决的中心问题。

洲际导弹、宇宙航行提出了新的问题, 因为外层空间存在着大小不等的流星, 它们的运动速度很高, 因此就产生了与导弹或宇宙飞船相碰撞的问题, 以及由此而引起的防护问题。流星的飞行速度为每秒几十公里, 因此这类碰撞被称为超高速碰撞。

1. 超高速碰撞: 十余年来, 超高速碰撞方面的工作是比较多的。在美国开过多次超高速会议。为了进行这项研究, 发展了多种超高速试验装置, 其中有轻气炮、电磁炮、利用炸药或水下爆炸丝推动等多种类型的装置。

根据巴泰尔纪念研究所(Battelle Memorial Institute)1964年的统计, 在美、加、英

有151台使用中的加速器，其中80%是双级轻气枪式的，有的速度可达每秒11.3公里（弹重0.044克），有的达每秒4.7公里（弹重2.5公斤）。应用聚能射流加速器，弹丸速度可达每秒16.5公里，但弹丸的质量和速度不易测定。应用其他原理可以达到更高的速度，但弹丸的质量很小。

美帝一个时期以来进行了大量的试验与理论研究。超高压状态方程的大量研究也和这个问题有联系。通过研究，大体上明确了超高速碰撞的机理，建立了若干经验公式，提出了计算模型。这些模型大都限于碰撞初期的可压缩流体运动阶段，对后期运动的材料强度因素仅作了一些估计。

实践证明，在外层空间遇到流星的机率是不高的。从防护角度看，只需考虑一些质量很小的流星，因此问题没有原来设想的那么严重，并可以采取适当的方法解决。据报道，在美国，已有相当大的—部分科研力量转入研究穿甲问题。

2. 聚能射流、穿甲等问题：关于聚能射流的形成与破甲的理论，最早是在二次大战期间提出来的，即所谓不可压缩流体的聚能射流理论。这个理论有很大的缺点，就是完全忽略了材料的可压缩性和强度。实践证明，不论是聚能射流的穿透能力或者是装甲的防护能力，都与材料的强度性能有关。

为了形成射流，金属罩或金属板的相对运动速度必须是亚音速的。因此近年来，有不少文章根据材料的状态方程，讨论聚能射流形成的条件问题，有的文章利用半经验的方法，对强度影响做出了修正。比较完整的讨论和计算结果发表于1966年《流体物理》杂志。在这篇文章中计算了射流的形成及对靶板的侵彻，所用的是PIC计算方法。但是仍没有把强度因素考虑在内，因此要解决实际问题还有相当大的距离。

随着计算技术的发展，近年来发表了一系列穿甲问题与崩落问题的数值解法。从定性角度看，计算结果能反映实际情况，但是为了真正解决问题，还需要对高速、高压下材料的性质进行更加深入的研究。

（五）爆炸加工与爆炸合成中的爆炸力学问题

爆炸加工自50年代开始以来，在工业上特别是在航空和空间技术上得到应用。60年代继续得到发展，应用范围更加扩大。如果说50年代爆炸加工主要是由于大型钣金零件成形的需要，那么在目前，应用范围已经扩大到包括焊接、复合、爆炸合成金刚石、强化、硬化等，而且在进行着一些新的探索，如爆炸压实、爆炸复合带有另一种金属丝的组合材料、爆炸挤压等。60年代最突出的两项成就乃是爆炸复合和爆炸合成金刚石。前者首先由杜邦公司发展，在美、英、法、德等国取得专利，并投入生产。后者由斯坦福福德研究所（Stanford Research Institute）的德卡利（Decarli）所发明并取得专利。爆炸合成的金刚石一般为微米级粉末。杜邦公司、通用电器公司（General Electric）等单位发展了以金属粉末为冷却剂的工艺方法，使产率得到提高。据报道，对粉末再次爆炸压实（烧结），可获得颗粒度约一毫米左右的金刚石。

爆炸复合后，在两种金属的复合面上，出现规律性的波纹，有时有熔融金属或微裂纹。研究表明，在复合时出现金属射流，而且波纹是由于射流的不稳定性造成的。这是个既有实际意义又有理论价值的问题，因此受到重视。巴赫拉尼（Bahrani）提出了复合机理的初步理论，但未达到定量描述的程度。1972年，在国际力学会上，有的文章专门讨论了这个问题。

对合成金刚石的机理问题，金刚石粉末的烧结机理问题，目前尚无定论。在杜邦公司1970

年的一篇专利中,从石墨、铜、金刚石的状态方程和炸药驱动下圆柱壳飞行速度的考虑出发,应用流体力学的理论,提出了一个圆柱壳飞片合成金刚石的装置,而且效果较好。这说明,从爆炸力学的角度出发,研究创造一定压力、一定持续时间、一定温度的动态高压装置,是很有意义的一项工作。

维金斯(Wilkins)提供了一个计算贴在金属表面上的片状药包起爆后对金属的作用的计算方法,这对于研究爆炸硬化问题是有意义的。

(六) 高速、高压动载荷作用下介质的力学性质

这个问题是爆炸力学中的基础性问题之一。近年来,美、苏、法、英等国都进行着大量的研究工作。

1. 固体的状态方程:当压力很高时,可以忽略固体的强度,因而可以将固体做为可压缩流体处理。所谓状态方程就是建立内能、比容、压力与温度之间的函数关系。

美国、苏联、法国等近年来发表了不少状态方程的数据,其中包括金属、岩石、陶瓷材料、高分子物、松散介质等。

关于获得动态超高压的手段,早期多采用炸药平面波发生器驱动飞片,然后利用飞片与试件的碰撞获得高压。但是由于飞片的速度有限,因此用此法得到的压力不超过一百多万大气压。理论上可以采取多级飞片的方法获得更高的压力,但是困难较多。苏联维烈沙金(Берешагин)曾利用炸药内部爆震波的马赫反射获得超高压。苏联声称达到900万大气压,但美、英等国的一些研究人员对此表示怀疑。现在多采用二级氢气枪代替早期使用过的炸药驱动法,而且随着测量手段的改进,有趋势采用小口径的高速枪(例如 $\phi 20$ 毫米, $\phi 7.62$ 毫米, $\phi 13.7$ 毫米等)。1972年美国劳伦斯-利佛摩尔实验室(Lawrence Livermore Laboratory)试用炸药收缩爆炸压缩强磁场的方法产生高压。他们用这种方法压缩有机玻璃,据称压力可达4百万巴,而且受压材料处于等熵压缩状态。

为了确定压力,主要测量试件中的冲击波速度和试件表面的质点速度。测量技术分为光学与电子学两大类。前者主要是指高速摄影技术,最近又采用激光技术。后者包括探针法、电动力法、压电晶体、锰铜丝,但是最常用的仍为电容器法。

根据以上方法可以得出固体介质的击波压缩曲线,配合理论工作就能算出它们的状态方程。常用的方法是:在高压段(压力大于一千万巴)采用FF理论模型,在压力较低时(几十万到几百万巴)采用德拜模型或液体模型等。

另外,国外还对在动态超高压条件下,材料的相变、熔点、电磁性质等方面也进行了大量的研究工作。

2. 固体的塑性性质:当压力较低时,就不再能把固体当作流体来处理了。这时,由于固体的弹塑性性质,冲击波出现复杂的结构。为了从实验上研究波的结构,目前已经发展了时间分辨率很高的质点位移连续测量技术。

前驱波的研究表明有应力松弛现象。用位错理论,能够大致地说明这个现象。但是平面冲击波对研究强度问题来说,有相当大的局限性,因为塑性变形一般不超过20%。

关于剪切强度同压力和温度的关系,目前多应用静态超高压方法进行试验。最近有人提出这三个量之间的比较普遍的经验公式。

3. 断裂问题:利用平板碰撞的方法,可以研究材料的断裂强度,优点是,反射拉伸波的强度可以在很大的范围内变化,而且能对拉伸波的作用时间进行控制。

实验表明,当拉应力的数值很大时,断裂面光滑、平整,塑性变形很少,这说明在这种拉应力下,原子或分子间的结合力受到破坏。拉应力较低时,断面不光滑,有塑性变形,说明这种断裂面是由许多微裂缝发展、联系而成的。

目前也有一些工作从断裂力学的角度(宏观裂缝),研究冲击波对裂缝发展的作用。

4. 高应变率问题:有关低静水压、高速动应力应变关系方面的研究工作,近年来以采用霍布金森杆的方法最多。把有关应力波的分析结合进去,使这个方法的应用范围逐渐扩大,在测量技术上也不断改进,由常温到高温,由压缩到拉伸;由一般试验到较高静水压的试验等都有所发展。已有的试验结果,撞击速度达300米/秒,应变率达 10^5 /秒,最大压缩变形为70—80%。为了消除试件端面磨擦与横向惯性效应,最近改用霍布金森扭转压力杆,进行高剪应变率下材料应力应变关系的测定。1972年英国尼古拉斯(T. Nicholas)等曾用这种方法进行钛的扭转试验,应变率可达 $10^2—10^4$ /秒。

三、 结 束 语

以上只是就爆炸力学的几个方面介绍了国外发展情况,有的问题如激光对物质的作用,爆震波理论,动态超高压与强磁场,宇宙中的爆炸现象等还没有涉及。

从上面介绍的情况可以看出,国外爆炸力学的发展有以下特点:

1. 充分利用近代的计算技术:爆炸现象一般都是非定常的,而且许多重要课题又至少是二维的。随着高速、大容量电子计算机的发展,最近出现一批二维非定常问题的数值解法和计算结果。这对了解爆炸过程的机理和解决实际问题,都是很重要的。

2. 对介质的力学性质的研究日益深入:为了弄明白各种条件下的爆炸问题,必须对介质的力学性质有充分的了解。这就需要发展新的试验装备和测量手段,如炸药透镜、轻气炮、高温击波管、超高速摄影机、新型脉冲X光机、激光测速等。另外,在理论上,爆炸力学工作者日益从物理学和化学中吸取对自己有用的东西。

爆炸力学的研究往往需要比较费钱的设备和较多的经费。我们看到,在国外,往往有严重的重复、浪费现象。因此,在统一规划下,加强分工协作,加强交流,是我们在自己工作中应当注意的。