

编者按：本文是郑哲敏先生为力学所建设创新文化于 2004 年写的一个科研案例。1960 年早春爆炸成形初见苗头时，钱学森即指出“这是新生事物”；1963 年爆炸成形完成任务时，钱先生命名“爆炸力学”。随即根据郭永怀先生指示，郑哲敏先生首次阐述并规划爆炸力学。郑哲敏先生不幸于 2021 年 8 月 25 日病逝，本刊发表此文作为纪念，期望有助读者了解力学所开创爆炸力学和工程科学研究的经验教训，弘扬郑哲敏先生的科学精神。



记 20 世纪 60 年代初爆炸成形研究中的一段经历

郑哲敏

(中国科学院力学研究所, 北京 100190)

中国科学院力学研究所在“大跃进”后期开展了爆炸成形的研究，1961 年接受国家有关部门的委托任务，1962 年取得重要进展，1963 年顺利完成任务，1964 年受到三委（国家计委、经委和科委）的奖励，之后又陆续取得新的成果（图 1）。

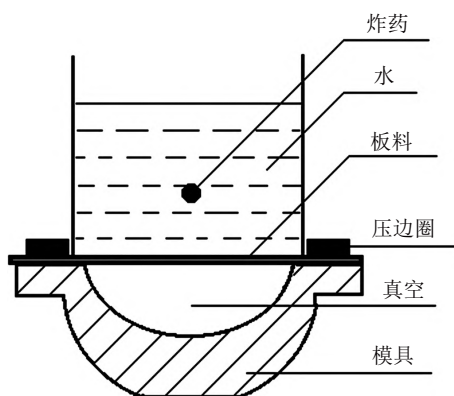


图 1 爆炸成形示意图

作为科学研究的经验，有几件值得记取的事，简要叙述如下。

1 坚持科学研究

20 世纪 50 年代末，中国科学院力学研究所当时的第四研究室通过调研和广泛的讨论，提出将“高速、高压塑性动力学及其应用”作为自己的研究方

向，并迅速得到力学所和科学院领导的同意。作为这个方向下的一个具体项目，在“大跃进”思潮的影响下，爆炸成形研究一开始便下工厂实践，以为可以轻易取得成果。当时我们到的第一个工厂是位于北京大北窑的北京汽车厂，第一个要成形的零件是全尺寸的小轿车行李箱盖。结果可想而知：先是因未抽真空，根本无法成形，后来不是工件破裂便是形状实在达不到要求，因而彻底失败了。不过也有收获，摸索到了爆炸成形工艺和模具设计的一些最基本的知识。接着，又选择过别的零件，如汽车的灯罩，这是个一般需要多次深拉伸成形的部件，自然也没有做成。最后，工厂的耐心和积极性都没有了，我们被礼貌地请出工厂。好在我们毕竟是从研究部门出来的，利用工厂的条件，进行了若干典型零件的不同尺寸、不同板材厚度、不同炸药量的系统试验，并且以经验公式方式整理了试验数据。

北京汽车厂之后，我们又去过包括长春汽车厂和杭州锅炉厂在内的其他一些工厂，炸出过几个大体合格的零件。在此期间，我们一直坚持典型零件成形的系统试验，积累了宝贵的实验数据，这为以后模型律的研究提供了十分重要的基础。此外，我们还利用弹性波反射的原理，用很简陋的方法，粗略地测定了水中冲击波的强度与波长，使我们对爆炸成形条件下冲击波的特性有了定量的认识。这些知识对于

本文于 2021-09-28 收到。

引用格式：郑哲敏. 记 20 世纪 60 年代初爆炸成形研究中的一段经历. 力学与实践, 2021, 43(6): 999-1001

Zheng Zhemin. An experience in the study of explosive forming in the early 1960s. *Mechanics in Engineering*, 2021, 43(6): 999-1001

我们学习水下爆炸的理论、分析和理解爆炸成形的机理有很大的好处。为了了解零件成形的动态过程,我们还专门抽调人力,研制微秒计时仪,以定量测定零件运动的时间历程。正是这项技术的成功实现,使我们发现了所谓“二次加载”的现象,即板料运动过程中的第二次加速现象。后来的发展表明,这是理解爆炸成形机理的关键一步。

这些事实告诉我们,在研究条件不太好的“大跃进”中,坚持最基本的科学实验是何等重要,哪怕这些实验的全部意义在当时可能还不很明确。

2 唯有研究得深才能得到真正有科学价值和实用价值的结果

“大跃进”之后紧接着是三年“调整、巩固、充实、提高”的时期,也是力学所爆炸成形研究快速取得最重要成果的时期。从外部环境来说,其原因主要是,群众运动的压力和外界的干扰减小了,人们有机会进行反思,重新回到比较实事求是、按科学规律办事的轨道上来。

对我来说,那时最有影响的有两件事。一是中央发表的关于科学研究的“十四条”,二是20世纪60年代初在人民大会堂召开的一次首都科技界大会,前者强调要按科学规律办事,其中聂荣臻同志在报告中提到的要全面部署配套的科研工作,给我的印象尤深;后者表达了中央对我国的科技界的殷切期望,加强了科技工作者的责任感。

恰好在那个时候,我们接到研究爆炸成形的委托任务,这对提高大家的积极性有很大的作用,因为它意味着在一段时间内,科研条件会有所改善,可以有个比较稳定的工作地点而不必到处找工厂打游击,说服他们接受我们去做实验了。与此同时,钱学森所长指定要在1963年由力学学会和机械工程学会联合举行有关爆炸成形的学术会议,从而增加了我们的紧迫感。

于是我们利用爆炸成形工作从原第四研究室调整到第二研究室的机会,将一个研究组分作成形组、载荷组和材料组,并且充实了研究力量,在深化研究工作的同时开展有关知识的系统学习。另一方面,与工厂密切合作,进行为建立模型律而设计的专门实验。

对我来说,当时集中考虑的问题主要有两个。第一个问题是二次加载的机理问题(图2)。从事后看,这个问题并不十分复杂,但在当时着实费了不少脑筋,带来许多不眠之夜。通过计算很快发现,如果变形受到一定的阻力,那么由于水中高压冲击波反射产生的稀疏波所导致的空化(即汽化)作用,水中冲击波可以将更多的机械能传递给板料,提高炸药能量的利用率。另外,根据水下爆炸的理论知道,冲击波的能量只占炸药能量的二分之一,还有大约二分之一的能量可以部分地用来做功。问题是后者是如何具体实现的。这个联系,即空化区的闭合(即消失),是在研究组的一次研讨会上,当我做关于空化问题的报告时,突然在脑海里出现的。一经出现,以二次加载为关键环节的爆炸成形机制便变得十分清晰和简单,致使把它用于具体计算球壳在爆炸作用下的变形过程成为顺理成章的事了。

另一个集中考虑的问题是爆炸成形模型律问题,这也是钱学森所长要求我们首先解决的问题。我们建立的爆炸成形模型律有三个层次。首先,无论是水还是爆震产物都可以当作无黏性的可压缩流体。金属的强度虽然同应变率有关,但也只有当应变率有数量级变化时,它的影响才需要考虑。因此,从理论上讲,几何相似律应当是近似成立的。这个判断为我们的实验结果所证实。其次,在我们重新整理实验数据时,发现在固定变形量的条件下,所需的炸药量近似地同板料的厚度成正比,国外的有些计算公式也表明了这一点。我们知道,在厚度足够小时,薄膜应力远大于弯曲压力,所以总的变形能一定也同厚度成正比。因此,药量与厚度成正比实际上表示药量与总的变形能成正比,它所表达的是一种能量关系。于是我们称这个关系为能量准则,它是几何相似律的特例。最后,我们根据前述成形机理,对球壳的爆炸膨胀过程进行了具体的计算,表明能量准则的确是一个不错的近似,从而为能量准则提供了理论解释。

我们在1962年取得了这些重要进展,于1963年从容地完成了委托单位和钱学森所长交给我们的任务。应当说,这项工作无论在深度、广度上还是在系统性上,都明显地要比国外强,并且通过这项研究,使我们水下爆炸对结构物的作用有了更深刻的理解。我们发展的各项实验技术和测量仪器也被证明是很有用的。

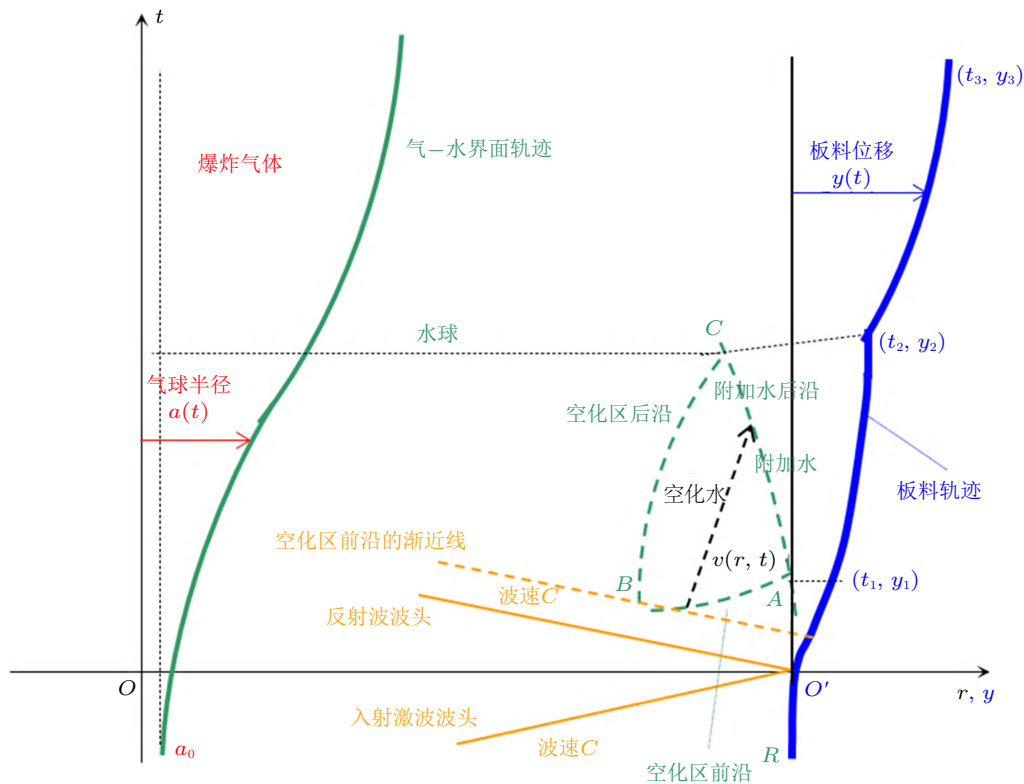


图 2 球对称爆炸时板料、水球、爆炸气球的时间-路程曲线示意图。

(r 是水球和爆炸气球的拉氏坐标，原点 O 在炸药球心；炸药球半径 a_0 ，爆炸气球半径 $a(t)$ ；初始时刻板料到原点距离 R ， t 时刻 $R + y(t)$ ； $y(t)$ 是板料在 t 时刻的位移量，原始时刻 $y(0)$ 在 O' 点。)

3 完成“实践—理论—实践”的一次循环

以上成果被迅速推广，但是新的实践又提出了新的问题，其中最突出的是爆炸成形的模具强度和材料的力学性质问题。这里介绍一下与模具强度有关的问题。按照几何相似律，模具的重量正比于零件尺寸的三次方。因此，对于大型零件，模具设计成为很突出的问题。我们在实践中很快就遇到了它。盲目地按比例放大模具以保证其强度显然是不可行的，因为模具的重量太大了。根据我们的理论，板料撞击模具的时刻，它后面紧跟着水，好似刚体运动一样冲向模具。如果我们把模具设计成在外界冲击下可以分块散开来的话，那么如同一个弹子撞击另一个原先静止的弹子一样，只要设计得当，后者会被击走，前者会停下来。这样，不仅模具受力很小，而且

成形后零件的精度还可以得到保证。我们把这个完全理论上的判断，立刻应用到一个大型的封头状零件上去，效果极佳。伴随着爆炸的巨响，当烟雾消去之后，人们看到，虽然模具已经横七竖八地被抛在周围，成形后的零件却巍然不动地站立在那里。

这项被我们称为“惯性模”的技术很快得到推广，人们不仅把它应用于大型零件，而且应用于通过一次爆炸，同时实现成形、开孔、卷边等多种工艺。

前面讲的事已经过去了几四十年，事情也不大，但每当回忆起来的时候，都不免为当时那种紧张而团结热烈的气氛所感染。我和许多其他参加工作的同志一样，都在那次难忘的经历中增长了做科研和组织科研工作的知识和经验。现在把它写出来，如果被认为还有一些价值的话，大家都会很高兴。

(责任编辑：胡漫)