

· 书评 ·

液体炸药是含能材料的重要组成部分

——喜读刘吉平教授新著 Liquid Explosives

由德国斯普林格(Springer)出版公司2015年1月出版的Liquid Explosives(《液体炸药》)专著,是世界上第一部有关液体炸药的理论著作,作者为中国著名的含能材料专家、北京理工大学教授刘吉平。该书不仅介绍了液体炸药产品性能及最新工艺,反映了全球液体炸药研究重点和发展新动向,还汇集了作者从事含能材料研究数十年的重要研究成果,可谓内容充实、成果新颖、实用性强。

液体炸药的形态特性决定了其爆轰反应规律等有别于凝聚态炸药,因而不能用经典的爆轰理论解释,而是还与欠压爆轰有关。作者在书中首次深入研究了液体炸药的爆轰机理,分析、讨论了液体炸药的爆炸特征;探讨了另外一种两阶段爆轰,即第一阶段为快速反应阶段,几乎释放出全部爆轰能;第二阶段的反应则以较慢的速度进行,其中有吸热反应。由此可证明,在这种情况下,能得到在上述理论分析中的稳定欠压爆轰状态。

炸药爆轰产生无支持的稳定爆轰波,以CJ速度传播,在爆轰波反应区末端有声速流;或者以超过CJ速度的爆轰速度传播,在反应区末有亚声速流。经典爆轰理论早已预言,炸药支持的稳定爆轰波还可能有一种独特的无支持稳定爆轰波,在反应区之末得到超声速波。这种独特的传播速度被称之为本征值(Eigenvalue)爆轰速度。

经典爆轰理论创始人Chapman和Jouguet把爆轰理论完全奠基在气体动力学基础之上。本书作者认为这种认识并不完全正确。爆轰理论除了与气体动力学有关外,还应与化学动力学有关;在3个气体动力学守恒方程之外,还应引入化学动力学方程。因此,在这个方程中,要认真考虑化学反应速率。气体动力学把力学量看成是流动梯度的函数,经典化学动力学则认为化学反应速率与这些力学量不同,它们不是流动梯度的函数,而是局部热力学状态的函数。在这方面,二者是不同的。

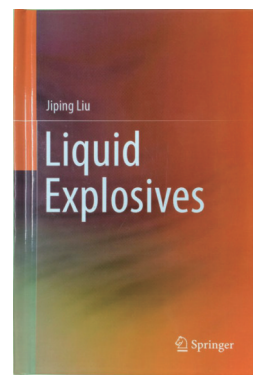
那么,怎样才能找到把化学动力学

方程和气体动力学方程中3个守恒方程放在一起的办法呢?通常认为这十分困难,原因在于爆轰反应区内的化学变化极为复杂。因此,必须有一种简化的方法,即规定化学组成按照某种方式进行化学计量反应的变化,而用化学计量反应的进程变量 λ 的变化来反映化学组成的复杂变化。这样,就把一个化学问题变成了一个物理问题,从而有利于问题的解决。

刘吉平认为,液体炸药爆炸时出现欠压爆轰必须满足以下两个条件:一是终态Hugoniot曲线不是冻结Hugoniot曲线族的覆盖区的上边界。如果这一条件不满足,则一定不会出现欠压爆轰;二是必须使Reyleigh线经过 $\Sigma=0$ 同时有 $\eta=0$ 之点时,才有欠压爆轰。作者从理论和实验上进一步证实了液体炸药爆轰时作功的途径有别于凝聚态炸药。这主要是由于形成欠压爆轰所致,欠压爆轰使得液体炸药的爆轰超压值高于凝聚态炸药,以胍类和硝酸胍组成的液体炸药比HMX的爆轰能力大,这就表现出某些液体炸药的爆轰特点及优势。

作者还深刻描述了液体炸药的爆炸作功能力,即液体炸药在爆炸时形成高温高压产物,并能对周围介质产生强烈冲击和压缩作用,从而使与其相接触或相近的物体产生运动、变形、破坏与飞散。这种作用主要是爆轰产物的直接作用。当目标离炸点较远时,爆轰产物本身的破坏作用就不甚明显了。但是,当炸药在空气和水等介质中爆炸时,由于爆轰产物膨胀将压缩周围介质并在其中形成冲击波,在这些介质中传播的冲击波可以对较远距离的物体产生破坏作用。因此,炸药爆炸时对周围物体的作用,不仅表现在和炸药相近的距离上,还表现在离炸点较远的距离上。

通过研究液体炸药的爆炸作用,可以正确评价炸药的爆炸性能、合理地使用炸药,从而充分发挥炸药的效能,为各种装药设计提供必要的理论依据。液体炸药在无限自由空间爆炸时,虽然爆炸近距离的超压不如凝聚态炸药那么高,



刘吉平著。Springer出版公司,2015年1月第1版,定价:179.00美元。

但其冲击波脉冲宽度却远大于凝聚态炸药,表现出正压作用时间长、所做总功高。尤其是在半密闭空间爆炸时,液体炸药在释放大量气体的同时,还吸收了周围的氧参与爆轰反应,表现出吸氧特征。这是一般凝聚态炸药所不及的特别优异的特性。上述研究成果均属首次报道,使人们对液体炸药爆轰特征有了新的认识,从而为液体炸药的应用提供了理论支持。

刘吉平的研究工作在吸收前人成果的基础上,具有自主创新性。在此之前,人们一直认为硝化甘油轻微震动即可发生爆炸,但今天,这个问题他在技术上已解决,硝化甘油已不再那么敏感。他还改进了众多硝酸酯制备技术,实现了无污染的绿色硝化工艺,为环保工作做出了贡献。

液体炸药是含能材料的重要组成部分,具有不可压缩特性,其突出特征在于不受地理环境、形态的影响并能表现出优良的爆轰特性,其应用范围远宽于凝聚态炸药。因此,研究各类液体炸药含能材料的特征,优化其能量水平、燃烧行为、爆轰特征、稳定性、加工特性以及勤务特性等,对于提高炸药能量、降低炸药感度、延长炸药储存期等都有着十分重要的意义。我相信,Liquid Explosives的面世,一定会受到本领域理论研究人员和工程技术人员的热烈欢迎。

文/赵子立

作者简介 解放军炮兵技术学院火炸药系原主任,教授。

(责任编辑 苏青)