

# 水压爆破技术在地震勘探中的应用

吴杨云, 杜琦伟

山西省煤炭地质物探测绘院有限公司, 山西 晋中 030600

**摘 要 :** 随着城镇化发展和绿色勘探的要求, 采用大药量连续装药的井中爆炸方式, 难以统筹解决地震勘探资料采集难、爆炸震动危害大和炸药爆炸后产生的有害气体对环境的污染问题。笔者通过借鉴钻孔水压爆破技术原理, 采用往地震勘探炮孔底投放 1 瓶与孔径基本吻合的装满水的矿泉水瓶, 然后下药, 再在炸药顶端安装 2 个矿泉水瓶, 埋孔、灌水等措施, 论证了水压爆破在复杂环境作业区提高地震勘探采集质量、降低震动危害和炸药爆炸后产生的有害气体对环境的污染问题等方面的成果应用价值, 研究制定了地震勘探水压爆破实施办法。为进一步解决深厚黄土区采集资料难、建筑物附近炮震动危害大、炸药爆炸后 NO、NO<sub>2</sub> 有害气体的污染问题, 进行了有益的探索和思考。

**关 键 词 :** 地震勘探; 水压爆破; 环保震源; 技术研究

## The Application Of Water Pressure Blasting Technology In Seismic Exploration

Wu Yangyun, Du Qiwei

Coal Geological Geophysical Exploration Surveying & Mapping Institute of shanxi Province, Jinzhong, Shanxi 030600

**Abstract :** With the development of urbanization and the requirements of green exploration, it is difficult to solve the problem of the environmental pollution of harmful gases caused by the explosion. The author, by drawing lessons from the drilling water pressure blasting technology principle, put the bottom and the aperture of 1 bottle filled with water bottles, and then install 2 bottles at the top of the explosive bottles, buried hole, irrigation, demonstrates the water pressure blasting in the complex environment to improve the quality of seismic exploration and acquisition, reduce the vibration hazards and the explosive explosion of harmful gases of environmental pollution results application value, study the measures for the implementation of seismic exploration hydraulic blasting. In order to further solve the problems of NO and NO<sub>2</sub> pollution in the deep loess area, the vibration of guns near the building, and the explosive explosion, the beneficial exploration and thinking are made.

**Keywords :** seismic exploration; water pressure blasting; environmental protection source; technical research

### 一、引言

以炸药爆炸时产生的能量作为震源的地震勘探<sup>[1]</sup>, 是当前常用的一种地球物理勘探方法, 其装药方式目前仍然采用连续装药<sup>[2]</sup>的方法, 将震源药柱串起来, 用木杆将炸药送到井底, 然后用岩土岩屑封孔、起爆, 基本解决了地震勘探资料采集问题。但是, 随着城镇化发展, 勘探深度的增加和《绿色勘探指南》<sup>[3]</sup>对地震勘探的要求, 采用大药量连续装药的井中爆炸方式, 难以统筹解决复杂环境作业区地震勘探资料采集难、爆炸震动危害大和炸药爆炸后产生的有害气体对环境的污染问题。

水压爆破<sup>[4]</sup>是利用水的不可压缩性质, 能量传播损失小, 且水在爆炸气体膨胀作用下产生的“水楔”效应, 大大减少了炸药能量的外泄, 使更多的能量为地震波, 同时减小对周围围岩的扰动; 其次水在爆破冲击波作用下形成水雾, 能溶解一部分有害气体, 降低有害气体对环境的污染。目前水压爆破已广泛应用于工程爆破中, 并取得了较为理想的效果。因此, 将水压爆破应用于

地震勘探中, 具有一定的技术、经济和环保意义。

### 二、国内外研究现状和发展趋势

早在二战期间, 库克伍德和贝特提出了水中爆炸的近似理论, 泰勒提出了气泡振荡理论; 1948 年库尔研究了水中爆炸的主要现象和变化规律; 1962 年, 霍顿用数值方法研究得出了水下爆破冲击波传播和衰减的理论解。40 年代末期, 挪威、瑞典等国就在城市进行过水压爆破拆除建筑物的尝试, 并取得了成功; 进入 50 年代, 水压爆破技术迅速在世界各国得以推广, 成为城市建筑物拆除爆破中一种较安全且先进的爆破技术; 到 70 年代末, 日本的桥本博和高木薰首先将此技术应用于隧道掘进和石材切割中, 发明了所谓的 ABS 法。

我国应用水压爆破技术始于 50 年代, 大量应用则是 70 年代末 80 年代初。80 年代初, 山东莱芜铁矿、山东洪山铝土矿将水压爆破技术应用于大块的二次破碎, 取得了成功; 1984 年—1995 年,

作者简介: 吴杨云 (1966—), 男, 山西新绛人, 地质工程师, 注册安全工程师, 爆破安全工程师, 主要从事煤矿安全和地质勘探安全研究

中国科技大学、铁道部工程指挥部、西安矿业学院爆破工程部将水压爆破应用于城市拆除爆破中。陈士海、林从谋根据水的性质和爆炸作用特点，理论分析了水压爆破岩石破碎特征，讨论了水介质的水楔作用；罗勇等人通过现场试验表明水介质不耦合爆破装药量少，爆破震动低，围岩稳定性好，可节约施工成本、降低爆破烟尘、加快施工进度。

由于水压爆破较多应用于工程爆破中，因此国内外的研究现状大多是关于工程爆破，对于水压爆破在地震勘探的应用目前还处于空白阶段。

本文通过借鉴隧道孔内水压爆破技术参数，采用往地震勘探炮孔底投放1瓶与孔径基本吻合的装满水的矿泉水瓶，然后下药，再在炸药顶端安装2个矿泉水瓶，埋孔、灌水等措施，在现场进行了试验和单炮记录品质分析与对比，不仅取得了单炮记录面貌好，面波干扰少，单炮能量、道集间频率、信噪比都要优于单孔连续装药质量，而且从地震波能量对比上可以看出水压爆破试验孔的振幅明显小于常规孔，并且在爆区边缘100 m范围内有居民集中区、大型养殖场和重要设施的环境中实施炸药量为2kg，孔深在6m以内的基岩孔爆破激发，其周围的居民设施和养殖场均没有受到任何震动危害影响。在环保方面，NO、NO<sub>2</sub>属于炸药爆炸后产生的有毒有害气体，遇水后会生成硝酸或亚硝酸与黄土孔内含有的钙质结核发生化学反应，会生成硝酸钙等盐类物质，有利于农作物生长。另外孔内充水较多，也可以稀释有害气体的作用。从而填补了国内地震勘探实现绿色勘探的一项空白。

### 三、地震勘探水压爆破试验对比

深厚黄土区一直是地震勘探困难区。过去常规的办法是，加大孔深，加大药量或采取平面组合，提高地震勘探爆破作用面积的办法。但是其效果并不理想，单炮记录深层反射波不明显，面波干扰大，而且施工成本高。

为了提高采集资料质量，保障生产成本不超预算的情况下，笔者在山西厚黄土区和基岩区采用了用饮料瓶装水作间隔材料进行了间隔装药<sup>[5]</sup>地震勘探爆破试验，即深孔水压爆破技术，取得了明显的效果。

#### (1) 1号试验点

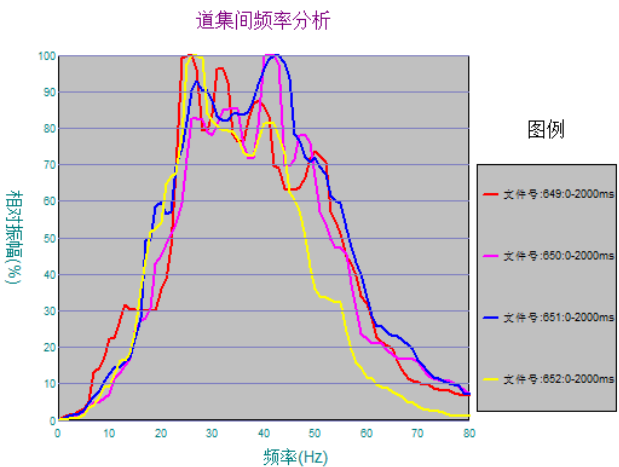
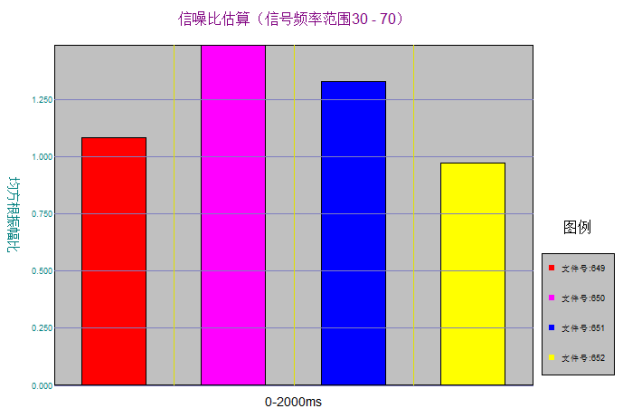
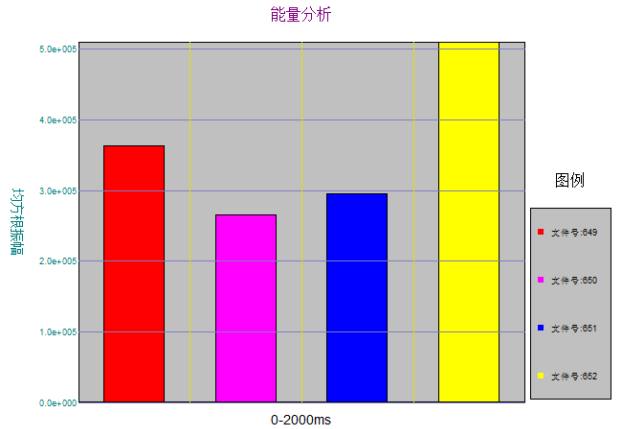
7号孔为常规孔：孔深5m，位于沟底，激发介质为N2砂质粘土。药量2kg，集中连续装药。

5号孔为试验孔：孔深5m，位于沟底，激发介质为N2砂质粘土。药量2kg，为间隔装药，间隔方式为在孔底安放1瓶高22cm的装满水饮用水瓶，下1kg炸药，然后再安放1瓶高22cm的装满水饮用水瓶，再下1kg炸药，最后埋孔堵塞。通俗的表示方法为1+1，1代表水瓶。

山西某煤矿井田三维地震勘探水压爆破和常规炸药的对比试验：同一地方的普通炸药和水压爆破的单炮的定性、定量分析可看出，水压爆破目的层段的目的波连续性、信噪比优于普通炸药；二者在能量和频率上相差不大，水压爆破的信噪比优于普通炸药。

#### (2) 2号试验点

改变试验方法，采用孔底间隔装药先在井底安放2瓶矿泉水，下4kg炸药，炸药之上再安放10瓶矿泉水，最后埋孔，在山西某县陡坡深厚黄土区地震采集方面取得了突破。



通过实验对比，不难发现凡是在井底安放水瓶的试验孔，其目的层反射波能量明显优于常规孔，并且采集资料面貌好，干扰波能量弱，信噪比高。从单炮能量和品质分析上可看出，深孔水压爆破在高频成分分布、能量、频带和信噪比方面具有明显优势。

从地震爆破激发能量上看，试验孔（粉红色）、蓝色和常规孔（红色）、黄色看，试验孔对孔壁破坏做功能量低，用于激发地震波的能量高。在信噪比分析，试验孔信噪比明显高于常规孔，从频谱上看，15—55赫兹频率的能量比较突出。

## 四、水压爆破技术参数与地震勘探子波特征的关系

### （一）地震勘探子波形成与特征

以炸药为震源的地震勘探子波产生于炸药爆炸后形成的弹性带内，若介质为各项同向，其强度、波形和频谱与压力衰减系数、震点到塑性形变外缘距离、纵波速度、介质密度等有关。通过理论计算和实践可得出以下几点认识。

（1）压力衰减系数越小，在弹性形变内壁上形成的压力越大，形成的地震波振幅就越强。在此情况下，压力也就衰减越慢，且低频成分越丰富。这也是闷井可以增强激发能量的理论依据。

（2）压力衰减系数不变，激发介质速度越高，振幅越小，频谱向高频端展宽。在地震勘探中，一般不选取在速度较高的硬岩石（如化学胶结的岩石）中激发，但也不选取速度很低的松散层激发，这是因为速度很低的松散层对地震波有强烈的吸收作用。

（3）药量大时，振幅相对较强，低频成分相对较为丰富。激发药量越大，地震子波的振幅相对较强，低频成分相对丰富，延续时间相对较长；激发药量越小，地震子波的振幅相对较弱，高频成分相对丰富，延续时间相对较短。

### （二）水压爆破技术参数

地震勘探炮井内水压爆破其实质是工程爆破中的间隔装药<sup>[5]</sup>一种形式。通过间隔介质改变药柱与炮孔壁的接触关系，以降低应力波和爆轰气体产物作用于孔壁的初始压力，使这种压力的作用时间延长，使炮孔周围不产生压碎区或压碎区明显减小，从而在减小炮孔装药量的情况下，依靠炸药能量有效利用率的提高，达到保证爆破破碎的目的。

在地震勘探中通过实施间隔装药可以实现炸药波阻抗与介质波阻抗接近，使激发的地震波能量最大。地震勘探震源药柱的波阻抗通常为6000的爆速与1.4的乘积。而岩土波阻抗通常为3000与1.5-1.7的乘积，波阻抗值相差2000左右。将炸药波阻抗与岩土波阻抗接近唯一的办法就是通过孔底间隔使炸药起爆后所产生气体作用的空间增大，密度减小，在爆速不变的情况下，使炸药的波阻抗与岩土波阻抗接近，从而提高炸药能量转化为地震波的能量。

“钻孔水压爆破”技术正是针对这一情况，采用在炮眼中先“注水”后用“炮泥”回填堵塞的新技术，利用在水中传播的爆破应力波对水的不可压缩性，使爆炸能量经过水传递到炮眼围岩中几乎无损失，十分有利于岩石破碎。同时，水在爆炸气体膨胀作用下产生的“水楔”效应有利于岩石进一步破碎，炮眼中有水可以起到雾化降尘作用，大大降低粉尘对环境的污染。岩石通过水楔效应破碎的过程，也就是地震波产生的过程。

另外，根据炸药的热化学参数，1kg 硝铵炸药爆炸后能够释放4228kJ 热量，1kg 水遇热被气化需要2260 kJ 的热量。采用“钻孔水压爆破”炸药爆炸后，孔底的水将被气化膨胀，其体积在1个标准大气压下将会膨胀1244倍。由于孔底空间的限制，被气化的水瓶将会发生水蒸气爆炸（就像锅炉爆炸）。水瓶气化后在爆炸的瞬间处于强烈的压缩状态，因而形成很高的势能。该势能在水蒸气膨胀过程中迅速转化为机械功，产生地震波。从而大大提高了炸药的能量利用率。

### （三）水压爆破技术参数与地震勘探子波特征的关系

通过上述论述，采用在炮眼中先“注水”后用“炮泥”回填堵塞的新技术，不仅提高了炸药能量利用率，而且利用水的不可压缩性和较高的能量传递效率，提高地震勘探子波的品质，形成如下效应：

（1）使炮井内水中爆轰产物的膨胀速度要慢，在耦合水中激起爆炸冲击波的作用强度高和作用时间长，有增强地震子波振幅的作用；

（2）在炮孔周围岩石中产生的爆炸应力波强度高，衰减慢，作用时间较长，具有较高的爆炸压力峰值，使地震子波频谱向高频端展宽；

（3）因为水的不可压缩性和较高的能量传递效率，同时相当于炮泥，水又具有一定的堵塞作用，因此，传递给岩石的爆破能量分布更加均匀、利用率高，有助于压制面波干扰，延缓地震子波的衰减。

## 五、结论

通过借鉴钻孔水压爆破技术参数在地震勘探中的应用，形成了如下认识和结论。

（1）炸药与装满水且封闭的矿泉水瓶相组合，可成为新型环保震源，不仅提高了炸药的能量利用率，而且还充分利用炸药的热力参数，使装满水且封闭的矿泉水瓶在炸药爆炸后高温高压条件下急剧气化膨胀，在有限的空间内产生爆炸现象，因而形成很高的势能。该势能在水蒸气膨胀过程中迅速转化为机械功，产生地震波。

（2）采用往地震勘探炮孔底投放1瓶与孔径基本吻合的装满水的矿泉水瓶，然后下药，再在炸药顶端安装2个矿泉水瓶，埋孔、灌水等措施，有效解决了深厚黄土区采集资料难、建筑物附近放炮震动危害大、炸药爆炸后NO、NO<sub>2</sub>有害气体的污染问题。

（3）爆破激发的地震波记录面貌好，面波干扰少，单炮能量、道集间频率、信噪比都要优于单孔连续装药质量，为解决厚黄土区地震勘探资料采集难打下基础，取得突破。

（4）为哑炮的人工处理创造了识别标志。炸药顶端的2瓶矿泉水实际上为人工用洛阳铲掏药到水瓶时，作业人员有明显的手感，这时作业人员就会均匀用力将水瓶从孔内缓慢掏出，然后再下药引爆。

### 参考文献：

- [1] 地震勘探：陆基孟，王永刚. 地震勘探原理. 东营：中国石油大学出版社，2009.
- [2] 连续装药：王亚朋，王相，王海亮，等. 连续装药起爆方式对爆破效果的影响分析[J]. 矿业研究与开发，2016(12):101-103.
- [3] 《绿色勘查指南》是中国矿业联合会标准，是中国第一个绿色勘查团体标准。指南规定了勘查工作中开展实践绿色勘查的基本原则和基本要求、施工企业管理、勘查工作中的生态环境保护 and 环境恢复治理、和谐勘查等内容。2018年8月1日，《绿色勘查指南》标准实施。
- [4] 水压爆破：钟冬望. 水孔预裂爆破机理及应用研究[D]. 北京理工大学，2000.
- [5] 间隔装药：吴亮，朱红兵，卢文波. 空气间隔装药爆破研究现状与探讨[J]. 工程爆破，2009，15(1):16-19.