

文章编号: 1003-1480 (2008) 03-0036-04

# 一种新型石油射孔枪传爆序列试验研究

丁希杰<sup>1</sup>, 章松桥<sup>2</sup>, 严瑞才<sup>2</sup>, 慕光华<sup>3</sup>, 路利军<sup>3</sup>, 张全恒<sup>3</sup>

(1. 中石化胜利测井公司, 山东 东营, 257096; 2. 中国兵器工业第213研究所, 陕西 西安, 710061;  
3. 长庆油田技术部, 陕西 西安, 710201)

**摘要:** 在井下电缆传输射孔施工中, 由于射孔枪内进水, 会出现“炸枪”事故。为避免事故发生, 设计了一种新型传爆序列, 主要完成了泄压孔、隔爆距离的确定, 以及雷管参数设计。可靠性试验、模拟井下试验与井下工业试验表明: 该传爆序列在正常情况下能可靠传递爆轰, 起爆射孔枪串; 在射孔枪内进水时又能可靠隔断爆轰波的传递, 保护射孔枪。

**关键词:** 射孔枪; 磁电雷管; 传爆序列; 隔爆

中图分类号: TJ45<sup>+</sup>6 文献标识码: A

## Study on a New Detonation Sequence of Perforation Gun

DING Xi-jie<sup>1</sup>, ZHANG Song-qiao<sup>2</sup>, YAN Rui-cai<sup>2</sup>, MU Guang-hua<sup>3</sup>, LU Li-jun<sup>3</sup>, ZHANG Quan-heng<sup>3</sup>

(1. Sinopec Shengli Well Logging CO., Dongying, 257096; 2. The 213th Research Institute of China Ordnance Industry, Xi'an, 710061; 3. The Technology Department of Changqing Oil Field, Xi'an, 710201)

**Abstract:** During the process of cable transmission perforation, the explosion of perforation gun would appear if the water enter the gun. In order to avoid this accident, a new type of detonation sequence is designed. The amount and diameter of pressure leakage hole, and the distance of detonation insulation were determined, and the parameters of detonator were designed. The reliability test, in-well simulation test and in-well operation test showed that the detonation wave can be cut off when the water enter the perforation gun, while under normal condition, the detonation sequence works well.

**Key words:** Perforation gun; Magneto electric detonator; Detonation sequence; Detonation insulation

在电缆传输射孔施工作业中, 由于器材质量不佳或者施工操作不当常使射孔枪密封性能下降, 导致射孔枪内进水, 在点火射孔时发生炸枪和卡枪事故。为了防止此种事故的发生, 射孔枪应具备在进水后其传爆序列的起爆部分不发火或导爆索被隔爆功能。本文结合井下射孔施工的磁电雷管, 设计了一种由新型雷管、传爆药、导爆索、射孔弹组成的传爆序列。试验表明该产品可以满足在射孔枪内进水时能有效隔爆,

枪内无水时能可靠传爆的要求。

## 1 传爆序列的设计

### 1.1 设计原理

射孔枪的传爆序列直接关系到射孔枪的安全性和可靠性, 因此, 爆轰波的传递与隔离是射孔枪内传爆序列整体设计的核心。爆轰波的安全隔离通常是通

收稿日期: 2008-03-31

作者简介: 丁希杰(1968-), 男, 工程师, 从事射孔工艺研究工作。

过错位来实现的,错位的方式有3种:转盘式、回轮体和滑块式<sup>[1]</sup>。然而射孔枪内的传爆序列是直列式的,需要采用一种新的传爆结构,即引入环境因子,将环境条件作为隔爆材料,根据不同的环境因素,使传爆序列实现传爆/隔爆的功能选择。

对于油田射孔施工而言,可用于传爆/隔爆功能识别的环境因子是空气或水。炸药在水中爆炸和在空气中爆炸是有区别的:由于水的密度比空气大很多,水的阻力也较大,因此,爆轰产物在水中的膨胀速度比在空气中要缓慢地多;水和空气还具有不同的压缩性,冲击波在水中传播时,其波阵面的压力与速度比在空气中传播时衰减地快,且波形不断拉宽<sup>[2]</sup>。因此,利用空气和水在相同间隙尺寸下对爆轰波衰减程度的不同,可以实现传爆和隔爆的功能选择。

本传爆序列的设计就是利用炸药在水中和空气中爆炸后产生的爆轰波不同,通过试验来确定雷管的装药量、压药压力以及其它各项参数。寻求合适的雷管输出,使得该输出能量在空气中能可靠引爆传爆药,而有水作为隔离介质时不能引爆传爆药,终止下一级传爆序列的作用,从而杜绝“炸枪”事故的发生。

## 1.2 传爆序列结构

传爆序列的结构如图1所示。

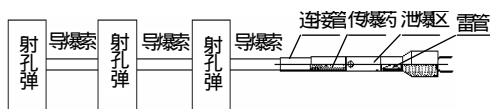


图1 新型传爆序列结构示意图

Fig.1 Sketch of new detonation sequence

该传爆序列由安全元件、雷管、连接管和传爆药组成,其中,安全元件、雷管和传爆药根据制式产品设计。连接管是整个序列的核心元件,是受环境因子影响的逻辑单元,其所起的作用是:在无水环境下,磁电雷管起爆仪通电,雷管起爆,继而引爆传爆药;在有水环境下,磁电雷管起爆仪通电,雷管起爆,爆轰波在水介质中衰减、隔断,不能引爆传爆药。

## 2 试验过程与结果

### 2.1 试验方法

该传爆序列设计的关键技术分为3点:(1)雷

管底部与传爆药距离(以下简称隔爆距离)的确定;(2)泄压孔孔径、孔数的确定;(3)输出能量和接收能量二者之间的相互制约的问题。考虑到以上各种变量之间相互制约并且关系复杂,笔者先选取1个参数作为变量,把其它参数作为定量,通过调整这一参数来评判其对传爆序列整体性能影响的程度,用试验确定各参数的最佳值。

### 2.2 地面试验装置

为模拟实用中的传爆序列,设计1个地面试验装置用以确定新型传爆序列的各参数。该地面试验装置主要由磁电雷管起爆仪、导线、试验罐和本传爆序列试验产品组成,试验介质为水。试验装置见图2,图3为浸入水中的待试验雷管(水灌至试验罐口)。



图2 地面试验装置

Fig.2 Groud test device



图3 浸入水中的待试验雷管

Fig.3 The pre-test detonator immersed to water

### 2.3 泄压孔的确定

在前期试验时,笔者在连接管上设计了2个小孔,其中1个用于进水,另外1个用于排气,以保证射孔枪内进水后能形成水隔离介质。通过摸底试验,笔者发现连接管上小孔直径的大小与隔爆距离对隔爆效果有较大影响。试验数据见表1。

从表1中可以看出,随着小孔孔径和隔爆距离的增大,隔爆成功率显著提高。经分析,笔者认为连接管上的小孔除了有进水、排气的作用外,还起着泄放能量的作用,故将此孔称作泄压孔。因此,为了尽可能减小隔爆距离,则需要增加泄压孔的孔径。试验中,

笔者发现水中隔爆后的传爆管底部出现凹陷,此现象表明传爆管底部承受了较大压力。为了将这一压力有效泄放,笔者将泄爆孔的数量增加到4个,试验后发现传爆管底部平整,表明其所承受的压力已大大降低。考虑到泄爆孔孔数已增多,若再增大孔径,则连接管的强度将受到很大的影响。最后,笔者将泄爆孔的孔数确定为4个,孔径定为3.0mm。

表1 孔径与隔爆距离对隔爆效果的影响

Tab.1 Influence of hole diameter and detonation insulation distance on detonation insulation effect

小孔直径/mm	试验数量/发	隔爆距离/mm		
		20	25	30
2.0	10	7发水中隔爆失败	4发水中隔爆失败	2发水中隔爆失败
2.5	10	3发水中隔爆失败	2发水中隔爆失败	1发水中隔爆失败
3.0	10	1发水中隔爆失败	1发水中隔爆失败	全部水中隔爆,其中1发传爆管底部有撞痕
3.5	10	1发水中隔爆失败	全部水中隔爆	全部水中隔爆

## 2.4 隔爆距离的确定

隔爆距离的增加将会导致整个传爆序列长度的增大。由于射孔枪内空间狭小,因此应尽可能减小隔爆距离。通过大量试验,找出了隔爆距离的最佳值。试验数据见表2。

表2 隔爆距离对产品性能的影响

Tab.2 Effect of detonation insulation distance on performance of products

隔爆距离/mm	试验结果	
	空气中传爆	水中隔爆
10	10发全部可靠传爆	10发水中隔爆全部失败
15	10发全部可靠传爆	20发中有16发水中隔爆失败
20	10发全部可靠传爆	40发中有2发水中隔爆失败
23	10发全部可靠传爆	40发产品中全部隔爆
25	10发中1发传爆失败	10发产品中全部隔爆
27	10发中1发传爆失败	10发产品中全部隔爆
30	10发中3发传爆失败	10发产品中全部隔爆

从表2可以看出,随着隔爆距离的增加空气中传爆的可靠性降低,水中隔爆的成功率增加。综合分析后,笔者认为23mm是隔爆距离的合适值,在后续试验中将其作为一个定值处理。

## 2.5 雷管的设计

在确定泄压孔以及隔爆距离的试验中,笔者借用某定型电雷管作为本传爆序列的内置雷管。通过试验笔者发现该雷管输出能量较大,不能满足本传爆序列的要求,因此必须重新设计雷管。笔者将雷管的主装药药量降至120mg,压药压力降为38MPa,在此基础

上通过增减药量和压力来调整雷管参数。表3为主装药药量对产品性能的影响。由表3可见:随着主装药药量的增加,空气中传爆的可靠性增加,但是在主装药药量为180mg时,仍有2发产品在空气中传爆失败。为解决这一问题,考虑适当增大压药压力。试验结果见表4。

表3 雷管主装药药量对产品性能的影响

Tab.3 Effect of the mass of main charge in detonator on the performance of products

主装药药量/mg	压药压力/MPa	试验结果	
		空气中传爆	水中隔爆
120	38	20发中13发传爆药作用失败	20发水中全部隔爆
140	38	20发中8发传爆药作用失败	20发水中全部隔爆
160	38	20发中3发传爆药作用失败	20发水中全部隔爆
180	38	20发中2发传爆药作用失败	20发水中全部隔爆
200	38	50发全部可靠传爆	50发水中全部隔爆,但1发传爆管底部有撞痕
220	38	20发全部可靠传爆	20发水中全部隔爆,但3发传爆管底部有撞痕

表4 雷管压药压力对产品性能的影响

Tab.4 Effect of charge pressure on the performance of product

主装药药量/mg	压药压力/MPa	试验结果	
		空气中传爆	水中隔爆
180	38	20发中2发传爆药作用失败	20发水中全部隔爆
180	44	20发中2发传爆药作用失败	20发水中全部隔爆
180	50	50发全部可靠传爆	50发水中全部隔爆
180	57	20发全部可靠传爆	50发中3发未能隔爆

由表4可见:该雷管在装药180mg、压药压力38MPa和44MPa时输出能量均不够,不能可靠引爆传爆药。在压药压力为57MPa时,雷管输出威力过大,在水介质中不能有效隔爆。而在压药压力为50MPa时,该雷管在空气中能可靠引爆传爆药,在水中能可靠隔爆,故确定压药压力为50MPa。

## 2.6 产品的可靠性试验

为验证其可靠性,又装配了230发产品进行可靠性试验,结果见表5。

表5 可靠性试验结果

Tab.5 Reliability test results

装药量/mg	压药压力/MPa	试验结果	
		空气中传爆	水中隔爆
180	50	115发可靠传爆	115发水中均可靠隔爆,传爆管底部完好无撞痕

为进一步验证其功能和可靠性,笔者和中国石油测井长庆事业部共同进行了地面模拟试验。试验方案为:

(1) 模拟井下射孔枪内渗漏水情况,2支0.5m 89枪,装4发射孔弹,进行隔爆试验;

(2) 地面试验,2支0.5m 89枪,装4发射孔弹,进行传爆试验;

(3) 模拟枪内进水,使用常规磁电雷管起爆,共2次。试验结果如表6所示。试验现象见图4~5。

表6 地面模拟井下试验结果

Tab.6 Simulation test result of in-well condition			
试验方案	试验数量/发	试验结果及现象	备注
射孔枪内未渗漏水	2	射孔弹正常起爆射孔	本试验产品放置在枪底
射孔枪内渗漏水	2	传爆管被可靠隔爆,导爆索、射孔弹亦未被引爆	本试验产品放置在枪底
射孔枪内渗漏水	2	射孔弹正常射孔,但孔眼不规范,枪身、套管变形、胀裂	枪头起爆,模拟枪内进水



图4 未渗水射孔枪起爆后的照片

Fig.4 Photo of initiating perforation gun without water entering



图5 模拟枪内进水起爆后的照片

Fig.5 Photo of initiating perforation gun with water entering

注:图5的“炸枪”情况是起爆前其枪头处于敞开状态,起爆后产生的高温高压气体部分被泄放。若在井下,射孔枪处于密封状态,爆炸后的高温高压气体产物得不到释放,其破坏程度远大于敞开状态下的破坏程度。

通过多次地面试验及地面模拟试验可知,该新型

传爆序列能够满足设计要求,即在空气中能可靠引爆传爆药,水中能可靠隔断爆轰波的传播,使导爆索、射孔弹完好无损。

## 2.7 井下工业试验

在地面模拟试验结束后,笔者联合中国石油测井长庆事业部进行了井下工业试验,试验情况见表7。

表7 井下工业试验结果

Tab.7 Test results of in-well operation					
射孔枪型号	井次/次	下枪次数/次	射孔枪长/m	发射率/%	一次下井成功率/%
89 常规枪	8	27	102	100	100
102 常规枪	4	8	14	100	100
102 复合枪	6	17	47.5	100	100

井下工业试验共上井18口次(其中89常规枪8口井,102常规枪4口井,102复合枪6口井),共下枪52根计163.5m(其中89常规枪27根102m,102常规枪8根14m,102复合枪17根47.5m),使用该试验产品52发,其正常作用率为100%,射孔准确率为100%。

## 3 结论

以上各项试验表明该新型传爆序列满足了用户提出的性能指标和使用要求,其设计合理,性能安全可靠。同时,填补了国内电缆传输射孔器材的一项空白。

## 参考文献:

- [1] 王凯民,等. 国外传爆序列技术研究与发展分析[J]. 火工品, 2001(1): 42-46.
- [2] 张庆明. 爆轰物理学[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2006.
- [3] 蔡瑞娇. 火工品设计原理[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1999.
- [4] 王宝琛. 我国油田用电雷管的安全性能[C]//中国石油射孔年会论文选集. 深圳: 中石化胜利油田测井公司, 2005: 166-165.