

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2021.03.004

# 二氧化碳致裂器激发药剂爆炸性分类的研究\*

徐敏潇<sup>①</sup> 尹光春<sup>②</sup>

①江苏警官学院警务指挥与战术系(江苏南京,210031)

②南京公安局巡特警支队(江苏南京,210017)

**[摘要]** 作为一种非炸药类爆破工具,二氧化碳致裂器在生产、运输和使用过程中的安全性一直是爆破行业和公安管理部门关注的焦点。以二氧化碳致裂器中发热管装的药剂为研究对象,通过隔板试验、克南试验和时间/压力试验等对含高氯酸钾、草酸铵、水杨酸配方的发热管药剂性质开展研究。研究表明:按照联合国关于危险货物分级程序,该种常见的二氧化碳致裂器发热管药剂可以定性为爆炸性物质;但该药剂足够钝感,可不划为爆炸品。

**[关键词]** 二氧化碳致裂器;激发药剂;爆炸性物质;爆炸品

**[分类号]** TQ560.7;TD235.2

## Classification of Explosive Properties of Simulants Used in Carbon Dioxide Splitter

XU Minxiao<sup>①</sup>, YIN Guangchun<sup>②</sup>

①Command and Tactic Department, Jiangsu Police Institute (Jiangsu Nanjing, 210031)

②Patrol Detachment of Nanjing Public Security Bureau (Jiangsu Nanjing, 210017)

**[ABSTRACT]** Carbon dioxide splitter is a non-explosive blasting tool. The safety of carbon dioxide splitter in production, transportation and application has always been the focus of the blasting industry and the public security administration. Simulants in the heating tube of carbon dioxide splitter was used as the research object. Chemical properties of the chemical formulations containing potassium perchlorate, ammonium oxalate and salicylic acid were studied by means of baffle test, Koenen test and time-pressure test. The results show that the formulations of this simulant common used in the heating tube of carbon dioxide splitter can be classified as explosive substances, according to the classification procedure for dangerous goods of United Nations, but it is insensitive enough not to be classified an explosive.

**[KEYWORDS]** carbon dioxide splitter; stimulant; explosive substance; explosives

## 引言

液态二氧化碳爆破技术最早由美、英等国开发<sup>[1]</sup>,早期用于管道清堵和大型储罐管壁清理;20世纪中期以来,广泛应用于英、美等国家的煤矿爆破。二氧化碳致裂器的工作原理是:将液态二氧化碳充入主管内,将管装入炮孔并堵塞,接通电源,发热管内药剂被点燃并加热主管内的液态二氧化碳,二氧化碳气化在管内形成高压,当压力高于破裂片的抗剪(压)应力时,高压气体从破裂片位置喷射出来,作用于周边介质<sup>[2-3]</sup>。它属于一种非炸药类的特殊爆破方法,在爆破过程中无明火、振动小、烟尘少,

大大地降低了煤矿爆破中引燃瓦斯的概率,有利于井下施工,并在煤矿增透(瓦斯抽采)施工过程中表现优异<sup>[4-5]</sup>。

近年来,我国陆续出现多起利用二氧化碳致裂器技术非法制造爆炸品的刑事案件以及涉及二氧化碳致裂器的事故,二氧化碳致裂器的危险性分类成为了大家关注的问题。

二氧化碳致裂器从结构上分为装有液体二氧化碳的金属管和装有药剂的发热管。从机理方面看,如果没有发热管的放热反应就不会引起二氧化碳的瞬间气化,二氧化碳致裂器就不会发生爆炸。装有液体二氧化碳的主管本身是没有爆炸性的,影响其安全性的不稳定因素主要来源于发热管中的药剂。

\* 收稿日期:2020-09-24

第一作者:徐敏潇(1982-),男,讲师,博士,主要研究方向为爆炸防控技术及火炸药技术。E-mail:xuminxiao@163.com

公安部门对二氧化碳致裂器的监管越来越重视。而对二氧化碳致裂器发热管中的药剂是否是爆炸品,仍没有相应的国家标准和鉴定依据。为了引导二氧化碳致裂器生产行业安全、可控地发展,给公安部门制定二氧化碳致裂器的相关监管政策提供参考依据,本文中,以二氧化碳致裂器发热管中的药剂(英国经典药剂配方)为研究对象,通过试验分析研究其爆炸性及敏感程度。

## 1 常见激发管药剂的爆炸性

国外的爆炸品在研制成功后,要按照规定的标准和实验方法进行危险性分级<sup>[6]</sup>;确定爆炸品的危险性等级后,按照规定对爆炸品进行生产、运输、储存、使用和管理,并制定出合理的防护和管理措施。

目前,在国际上常用的爆炸品危险性分级标准主要有:

- 1) 联合国发布的《关于危险货物运输的建议书:试验和标准手册》(简称橘黄书)中的第一部分<sup>[7]</sup>;
- 2) 北约组织制定的《关于军用弹药和爆炸性物质危险性分级规则手册》(NATO AASTP—3)<sup>[8]</sup>;
- 3) 美国国防部制定的《国防弹药和爆炸品危险性分级程序和试验方法》(TB700—2)<sup>[9]</sup>。

国际上现有的爆炸品危险性分级标准大都是在联合国橘黄书的爆炸品危险性分级标准基础上发展起来的,并且在不断地完善。目前,国内对爆炸品危险性分级标准有 GB/T 14372—2013,是等同采用联合国橘黄书中的标准作为爆炸品危险性分级的标准<sup>[10-13]</sup>。

针对二氧化碳致裂器的特点,将参照联合国发布橘黄书第一部分和国内 GB/T 14372—2013 中的分类标准及试验方法,对二氧化碳致裂器中的激发管药剂进行试验分类。图 1 为激发管药剂的分级流程。

### 1.1 样品

国内的二氧化碳致裂器技术(包括激发管药剂配方)从国外引进,经过多年的消化吸收,部分企业对其有所改进。但基本上是从优化结构、作业方式等方面入手改善使用效果,核心工作原理鲜有颠覆性创新。本文中,以英国引进的常用药剂配方为研究样品,药剂的组分有:高氯酸钾  $KClO_4$ 、草酸铵  $(NH_4)_2C_2O_4$ 、水杨酸  $C_7H_6O_3$ 。该配方中含有较敏感的强氧化剂和可燃组分,符合可爆炸物质的组分结构。

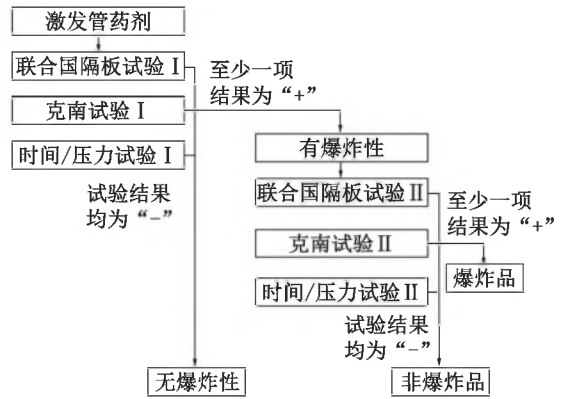


图 1 激发管药剂分级流程

Fig. 1 Classification process of the charge in excitation tube

### 1.2 联合国隔板试验 I

本试验用于测定激发管药剂在钢管的封闭条件下受到起爆药爆炸的影响后传播爆轰的能力。

#### 1.2.1 装置、材料及程序

试验装置、材料及程序参考联合国橘黄书中的试验 I (a):隔板试验。

#### 1.2.2 试验标准和评估结果的方法

试验结果是根据钢管的破裂形式和验证板是否穿孔进行评估的。得出最严重评估结果的试验应当用于分类。

如果出现钢管完全破裂和验证板穿孔的情况,试验结果即为“+”,亦即物质传播爆轰;任何其他结果都被视为“-”,即物质对爆炸冲击不敏感。

#### 1.2.3 试验结果

试验钢管破碎,验证板穿孔,试验结果为“+”,见图 2。

根据联合国危险品分类标准和试验方法,如果试验样品在隔板试验 I、克南试验 I 以及时间/压力试验 I 3 种试验中的任一试验结果为“+”,即可说明此激发管药剂具有爆炸性。因此该药剂样品具有爆炸性。



图 2 隔板试验 I 测试结果

Fig. 2 Test result of diaphragm test I

### 1.3 联合国隔板试验 II

根据联合国隔板危险品分类标准和试验方法,

在确定药剂具有爆炸性后需要进一步试验,测定药剂的敏感程度,以确定其是否定为爆炸品。

### 1.3.1 装置、材料及程序

试验装置、材料及程序参考联合国橘黄书中的试验Ⅱ(a):隔板试验。

### 1.3.2 试验标准和评估结果的方法

试验结果是根据钢管的破裂形式和验证板是否穿孔进行评估的。得出最严重评估结果的试验应当用于分类。如果出现下列情况,试验结果即为“+”,亦即物质对冲击敏感:

- 1) 钢管完全破裂;
- 2) 验证板穿孔。

任何其他结果都被视为“-”,即物质对爆炸冲击不敏感。

### 1.3.3 试验结果

试验钢管未破碎,验证板变形但未穿孔,试验结果为“-”,见图3。



图3 隔板试验Ⅱ测试结果

Fig.3 Test result of diaphragm test II

## 1.4 克南试验Ⅱ

本试验用于确定药剂在高度封闭条件下对高热作用的敏感度。

### 1.4.1 装置、材料及程序

试验装置、材料及程序参考联合国橘黄书中的试验Ⅱ(b):克南试验。

### 1.4.2 试验标准和评估结果的方法

可辨别出下列效应:

O: 钢管无变化;A: 钢管底部凸起;B: 钢管底部和管壁凸起;C: 钢管底部破裂;D: 管壁破裂;E: 钢管裂成两片;F: 钢管裂成3片或更多片,主要是大碎片,在有些情况下这些大碎片之间可能有一狭条相连;G: 钢管裂成许多片,主要是小碎片,闭合装置没有损坏;H: 钢管裂成许多非常小的碎片,闭合装置凸起或破裂。

如果试验得出O至E中的任何一种效应,结果即被视为无爆炸。如果试验得出F、G或H效应,结果即被评定为爆炸。

### 1.4.3 试验结果

极限直径小于2.0 mm,试验结果为“-”,管壁破裂情况见图4。



图4 克南实验Ⅱ试验结果

Fig.4 Test result of Koenen test II

## 1.5 时间/压力试验Ⅱ

本试验用于确定自制炸药在封闭条件下点火的效应,以便确定自制炸药在正常包件中可能达到的压力下点火是否导致具有爆炸猛烈性的爆燃。

### 1.5.1 装置、材料及程序

试验装置、材料及程序参考联合国橘黄书中的试验Ⅱ(c):(一)时间/压力试验。

### 1.5.2 试验标准和评估结果的方法

试验进行了3次。记下表压从690 kPa上升至2 070 kPa所需的时间。用最短的时间来进行分类。

试验结果是根据表压是否达到2 070 kPa和如果达到的话表压从690 kPa升至2 070 kPa所需的时间来解释的。

如果压力从690 kPa升至2 070 kPa所需的时间小于30 ms,结果即为“+”,亦即物质显示迅速爆燃的能力。如果上升时间是30 ms或更大,或者表压没有达到2 070 kPa,结果即为“-”,亦即物质显示不爆燃或缓慢爆燃。不点燃不一定表明物质没有爆炸性质。

### 1.5.3 试验结果

样品未点着,最大压力小于2 070 kPa,结果为“-”。

## 1.6 药剂爆炸性试验结果讨论

根据联合国橘黄书第一部分及国内标准GB/T 14372—2013中的分类及试验方法,如果试验样品在联合国隔板试验Ⅰ、克南试验Ⅰ和时间/压力试验Ⅰ3项试验中任一试验结构为“+”,即可将其定性为具有爆炸性。进一步通过试验判断该物质的敏感程度,即如果试验样品在联合国隔板试验Ⅱ、克南试验Ⅱ和时间/压力试验Ⅱ3项试验中任一试验结果为“+”,即可将其定性为爆炸品。

本文中,所测试的激发管药剂在隔板试验Ⅰ中

的试验结果为“+”;而在隔板试验Ⅱ、克南试验Ⅱ和时间/压力试验Ⅱ3项试验中的试验结果均为“-”。因此,可以认定其为具有爆炸性的物质,但由于其足够钝感,可不划为爆炸品。

## 2 国内部分二氧化碳致裂器产品事故的原因

我国二氧化碳致裂器产品生产至今未形成相应的行业规范文件,部分企业根据本企业情况,将从国外引进的二氧化碳致裂器技术从优化结构、改变激发管药剂配方等方面入手改善使用效果,生产出的产品质量差别较大。通过对我国多个厂家所生产的二氧化碳致裂器发热管药剂的危险性分类试验研究发现,大多数厂家生产的发热管药剂在联合国橘黄书系列Ⅰ类型试验的隔板试验Ⅰ或克南试验Ⅰ中结果为“+”,在隔板试验Ⅱ、克南试验Ⅱ和时间/压力试验Ⅱ3项试验中的结果均为“-”,可判定为足够钝感的爆炸性物质,不划为爆炸品。

从目前掌握的二氧化碳致裂器发热管药剂基于联合国橘黄书的试验测试结果来看,我国大多数厂家生产的二氧化碳致裂器发热管药剂具有较好的安全性。

但仍有少数企业所生产的二氧化碳致裂器因为激发管药剂引发了爆炸事故。事故可能原因可以分为以下两种:

1) 大多数二氧化碳致裂器的发热管药剂需要在一定压力、足够的药量条件下才能高效激发液体二氧化碳气化。有些厂家为了提高发热管药剂能量,保证可靠引爆,会在药剂中加入可以提高爆热的高热值金属粉。这些金属粉的加入会提高药剂的敏感程度,让药剂在联合国隔板试验Ⅱ、克南试验Ⅱ和时间/压力试验Ⅱ中呈现“+”结果,变成爆炸品。

2) 发热管药剂同样需要一定程度的外界能量来引燃,有些厂家为了让药剂更容易被激发,会在药剂中加入一些提高药剂敏感程度的物质。被敏化后的药剂在联合国隔板试验Ⅱ、克南试验Ⅱ和时间/压力试验Ⅱ中会是“+”结果,变成爆炸品。

## 3 结论

二氧化碳致裂器作为一种非炸药类爆破装置,其使用安全性,特别是发热管药剂安全性是关注的焦点。目前,我国还没有专门判断二氧化碳致裂器

发热管药剂是否是爆炸品的国家标准和鉴定依据,本文中所参考的联合国橘黄书中的分类及试验方法目前主要用于危险品货物运输,该系列试验方法虽然不是对二氧化碳致裂器发热管药剂危险性进行判定的专门方法,但其试验结果可以作为判断该类药剂危险性的参考。通过危险品货物运输分类方法对含高氯酸钾、草酸铵、水杨酸经典发热管药剂配方开展试验,从试验结果来看,可将该药剂定性为爆炸性物质,但由于其足够钝感,可不划为爆炸品。

二氧化碳致裂器技术作为一种理念先进、使用方便、安全系数较高的物理爆破技术,在一些可能存在瓦斯等可燃气体的爆破场合使用具有显著的优越性。但由于我国个别厂家生产的发热管药剂配方不合理,提高了二氧化碳致裂器在使用过程中的不稳定性 and 危险性,甚至引发了事故,给二氧化碳致裂器的使用带来了困扰。为了保障和引导二氧化碳致裂器技术高效、有序地发展,给出关于二氧化碳致裂器管理和处置方面的两点建议:

1) 为了保障二氧化碳致裂器的生产、运输和使用的安全性,减少爆炸事故的发生,建议规范二氧化碳致裂器激发管药剂的生产配方;

2) 在涉及二氧化碳致裂器的刑事案件中,由于目前我国还没有出台有关国家标准和鉴定依据,难以形成有效的司法意见,建议有关部门尽快出台相关国家标准和鉴定依据,为鉴定此类案件中涉及的具体二氧化碳致裂器性质提供指导意见。

## 参 考 文 献

- [1] SINGH S P. Non-explosive applications of the PCF concept for underground excavation[J]. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 1998, 13(3): 305-311.
- [2] 孙建中. 基于不同爆破致裂方式的液体二氧化碳相变增透应用研究[D]. 北京:中国矿业大学, 2015.  
SUN J Z. Applied research on permeability increasing by liquid carbon dioxide phase transition blasting based on different initiating condition[D]. Beijing: China University of Mining and Technology, 2015.
- [3] 王刚波, 彭继杨, 徐振尧. 二氧化碳致裂器爆破技术在布沼坝露天矿的应用[J]. *露天采矿技术*, 2017, 32(10): 40-42.  
WANG G B, PENG J Y, XU Z Y. Application of carbon dioxide fracturing for blasting technology in Buzhaoba Open-pit Mine[J]. *Opencast Mining Technology*, 2017, 32(10): 40-42.

(下转第 28 页)

349.

[11] WANG Y P, ZHU J W, YANG X J, et al. Preparation of NiO nanoparticles and their catalytic activity in the thermal decomposition of ammonium perchlorate [J]. *Thermochimica Acta*, 2005, 437(1/2): 106-109.

[12] 曾凡达, 李纲. 花状 CdO 微球的制备及其对高氯酸铵热分解的催化性能 [J]. *材料工程*, 2020, 48(6): 91-97.

ZENG F D, LI G. Preparation of flower-like CdO microspheres and its catalytic performances towards thermal decomposition of ammonium perchlorate [J]. *Journal of Materials Engineering*, 2020, 48(6): 91-97.

[13] LI G, BAI W Y, GE S P, et al. Facile preparation of Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> microspheres and their utilization in the pyrolysis of ammonium perchlorate [J]. *Functional Materials Letters*, 2019, 12(2): 195001.

[14] 罗昕. 纳米金刚石的表面修饰及对环氧树脂固化行

为的影响[D]. 天津:河北工业大学, 2018.

LUO X. Modification of nanodiamond and cure kinetics of nanodiamond-filled epoxy resin [D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2018.

[15] GASH A E, TILLOTSON T M, SATCHER J H, et al. Use of epoxides in the sol-gel synthesis of porous iron (III) oxide monoliths from Fe (III) salts [J]. *Chemistry of Materials*, 2001, 13(3): 999-1007.

[16] PERISTYY A A, FEDYANINA O N, PAULL B, et al. Diamond based adsorbents and their application in chromatography [J]. *Journal of Chromatography A*, 2014, 1357: 68-86.

[17] CAMPOS E A, FERNANDES M T C, KAWACHI E Y, et al. Chemical and textural characterization of iron oxide nanoparticles and their effect on the thermal decomposition of ammonium perchlorate [J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 2015, 40: 860-866.

(上接第 22 页)

[4] 周科平, 柯波, 李杰林, 等. 液态 CO<sub>2</sub> 爆破系统压力动态响应及爆炸能量分析 [J]. *爆破*, 2017, 34(3): 7-13.

ZHOU K P, KE B, LI J L, et al. Pressure dynamic response and explosion energy of liquid carbon dioxide blasting system [J]. *Blasting*, 2017, 34(3): 7-13.

[5] 李付涛. 二氧化碳爆破增透技术的试验应用 [J]. *煤*, 2016, 25(1): 16-18.

LI F T. The trial application of carbon dioxide blasting anti-reflection technology [J]. *Coal*, 2016, 25(1): 16-18.

[6] 徐森. 爆炸品危险性分级程序改进及典型试验方法研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2011.

XU S. Research on the improving of explosives hazard classification procedures and typical test methods [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2011.

[7] Recommendations on the transport of dangerous goods: manual of tests and criteria [S]. 5th revised New York: United Nations Publication, 2009.

[8] Manual of NATO safety principles for the hazard classification of military ammunition and explosives: AASTP—3 [S]. NATO International Staff-Defence Investment Division, 1995.

[9] Department of defense ammunition and explosives hazard classification procedures: FCR ARMY TB 700—2—2012 [S]. Washington, 2012.

[10] 中国兵器工业标准化研究所. 危险货物运输 爆炸品

分级程序: GB 14371—1993 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1993-12-01.

China Ordnance Industry Standardization Institute. Transport of dangerous goods: Specification on the classification procedure for explosives: GB 14371—1993 [S]. Beijing: Standards Press of China, 1993-12-01.

[11] 中国兵器工业标准化研究所. 危险货物运输 爆炸品 分级试验方法和判据: GB 14372—1993 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1993-12-01.

China Ordnance Industry Standardization Institute. Transport of dangerous goods: Test method and criteria of classification for explosives: GB 14372—1993 [S]. Beijing: Standards Press of China, 1993-12-01.

[12] 中国兵器工业标准化研究所. 危险货物运输 爆炸品 认可、分项程序及配装要求: GB 14371—2005 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2006-08-01.

China Ordnance Industry Standardization Institute. Transport of dangerous goods: Specification on the acceptance and classification procedure and the requirement of compatibility for explosives: GB 14371—2005 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2006-08-01.

[13] 中国兵器工业标准化研究所. 危险货物运输 爆炸品 认可、分项试验方法和判据: GB 14372—2005 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2006-08-01.

China Ordnance Industry Standardization Institute. Transport of dangerous goods: Test method of acceptance and classification for explosives: GB 14372—2005 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2006-08-01.