



钝感高能炸药几点认识与思考

钝感高能炸药 (Insensitive High Explosive, IHE) 概念

核武器中的炸药件是引发核反应的初始作功能源,同时也是核武器安全的薄弱环节。由炸药件意外爆炸产生的化爆事故,可能导致放射性污染,甚至可能引起更严重的意外核爆。美国在这方面有许多惨痛的教训,曾出现过核武器空中跌落、飞机失事坠落燃烧等事故。核武器本质安全性的需求促使美国国会军事委员会于 1978 年提出在今后的核武器中要使用 IHE (Slape, R. J. 1984, *MHSMP-84-22.*), IHE 的概念由此得到了极大加强和迅速发展。

IHE 概念首先由美国能源部炸药安全委员会针对核武器提出,指整体上能爆轰,但在非正常条件下产生意外引爆或从燃烧转变为爆轰的可能性几乎可以忽略不计的炸药。从 IHE 概念来看, IHE 的表述非常严酷、极端,“非正常条件”、“可能性几乎可以忽略不计”的描述,使如何有效鉴定 IHE 成为一个重要的研究方向。美国后续提出的 11 项 IHE 鉴定试验方法及相应的判据能否有效完全表征 IHE,也成为学术界讨论的热点。(Jon L. M. 15th International detonation symposium, Grand Hyatt San Francisco, San Francisco, California, July 13-18, 2014.)

在我国《爆轰术语》(GJB 5720-2006)中,钝感炸药的定义为:需要很强的外界刺激才能引起爆轰的猛炸药,其感度必须经过规定的方法检测、达到有关标准的钝感要求。中国工程物理研究院化工材料研究所已建立了相关的鉴定试验方法,目前正在进一步完善、发展和推广。

IHE 及 IHE 部件鉴定试验方法

1982 年,美国首先颁布了比较全面的炸药安全性评价方法《炸药安全性和其它性能试验方法》(MIL-STD-1751 (USAF))和《危险货物运输分级标准》(TB-700-2)。1984 年,美国能源部制定了 IHE 标准“钝感炸药试验方法测试规范”(MHSMP-84-22),规定了 IHE 的 11 项鉴定试验方法,用于考核炸药遭受意外刺激时的安全性,给出了鉴定被测炸药是否属于 IHE 的判据。随后,美国能源部将 IHE 的 11 项鉴定试验方法列入《炸药安全手册》(DOE M440-1)中,并补充列入了 IHE 部件(含炸药和传爆药的组件)的 5 项鉴定试验方法。

11 项 IHE 鉴定试验方法所涉及的试样覆盖了整个炸药寿命周期的各种形态,从原材料到成型试件,如造型粉、成型药件;试验方法模拟性较强,几乎包含从一般生产、运输、使用可能遭遇的异常情况,也包括从基础试验到工程应用可能遇到的各种意外场景。按不同刺激分类, IHE 鉴定试验方法主要有:撞击类,包括落锤撞击试验、大型跌落试验(冲塞试验)、苏珊试验、枪击试验;摩擦类,包括摩擦试验和滑道试验;热刺激类,包括一维热爆炸试验和点火及非限制燃烧试验;冲击波类,包括

爆轰(雷管起爆)试验和卡片隔板试验;静电类,包括火花试验。按试样药量尺寸分类,IHE 鉴定试验方法可分为小药量/小尺寸类和大药量/大尺寸类,其中小药量/小尺寸类包括落锤撞击试验、摩擦试验、一维热爆炸试验、爆轰试验、火花试验和卡片隔板试验,其它剩余项目为大药量/大尺寸类试验。虽然针对的场景和刺激量不同,但小药量/小尺寸的项目具有较强的代表性和较大覆盖面,试验成本、效率也有优势。在这 11 项 IHE 鉴定试验方法中,雷管起爆、卡片隔板、静电火花试验与刺激量关系紧密,与更大的试样尺度、场景没有紧密的关系,一种试验即说明问题。

5 项 IHE 部件鉴定试验方法包括大型跌落试验、篝火试验、慢烤试验、多发子弹连击试验(三枪试验)和滑道试验。如果构成炸药部件的主药柱与传爆药柱都已经通过了 11 项 IHE 鉴定试验,则明确其部件的鉴定试验就不必进行。

随着对炸药安全性技术的深入研究,美国又发展了多种试验方法对 IHE 进行安全性评估,但至今并未引入到 IHE 鉴定试验方法中,说明现有的 IHE 鉴定试验方法仍然保持了很好的合理性和稳定性。我国针对热、力及热力耦合的异常刺激环境,建立了弹丸撞击试验方法、类 STEVEN 试验方法等。(代晓淦,申春迎,文玉史,向永. Steven 试验中不同形状弹头撞击下炸药响应规律研究. 含能材料, Vol. 17 No. 1, 2009, 50-54.)

IHE 研制及应用

IHE 是核武器化爆安全本质保障,能够有力保证核武器的“一点安全”,提供了核武器最高安全等级。由于 IHE 标准非常严酷,1986 年美国能源部已批准的 IHE 只有以 TATB 为基的配方 PBX9502 和 LX-17。虽然这两种炸药的安全性能非常好,但是其爆轰能量偏低。为了提高武器综合性能,自 20 世纪 70 年代以来研究人员一直在寻找能量更高的 IHE,但总体上难度极大、进展缓慢。美国相继实施了安全高能炸药(SHEE)和高能降感(HERS)计划,开发了 RX-26 系列炸药配方,配方的主体组成为 TATB/HMX/粘结剂,相关性能得到了较好的改善。近年各国炸药研究人员致力于设计开发以 LLM-105 为基的配方,试图达到 IHE 标准。其中,美国设计了包括传爆药配方 LX-21 和具有 IHE 特性的主炸药配方 LX-22(配方为 LLM-105/Viton A=94/6)。(Vitello P., Fried L., Lorenz K. T., Souers P. C. 2015, LLNL-CONF-669912.)然而,RX-26 系列配方和 LLM-105 基系列配方有无通过 IHE 鉴定试验均未见报道。

TATB 与 IHE 关系的认识

TATB 与 IHE 的发展是相互交织、互相促进的。TATB 于 1889 年合成出来,直到 1960s 才开始作为炸药使用,在 1980s 被认定为 IHE,随后美国研制出 TATB 基炸药 LX-17、PBX-9502,并迅速、大量装备核武库。而 IHE 概念是由美国能源部炸药安全委员会提出,并在 1978 年得到了美国国会军事委员会的政策支持。(Dobratz B. M. 1995, LA-13014-H.)由 TATB 和 IHE 发展的时间序列,可以推断,如果没有 TATB,美国难以提出 IHE 的概念和迅速发展出 IHE,因为当时根本就没有能满足 IHE 的其他单质炸药,直到现在也没有确认的新 IHE,IHE 起初基本是为 TATB 量身打造的,但从 IHE 鉴定试验方法的建立、判据的确定和 TATB 反应余量来看,IHE 的发展并不仅针对 TATB,如

IHE 鉴定试验方法中最为严酷的苏珊试验,模拟的是万米高空弹体跌落的情形,其判据为在最小 $333 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 速度下,被测试炸药的相对释放能要求小于或等于 TNT10%,而 LX-17、PBX-9502 在苏珊试验中,相对释放能仅为 1%~3%,远低于指标要求,这两种炸药在其它 IHE 鉴定试验方法中也与指标要求具有类似情况。近些年来,FOX-7、LLM-105、DAAzF 等候选钝感单质炸药的研制,RX-26 系列炸药、LLM-105 基炸药的研发等也表明了 IHE 并不是仅针对 TATB。(Vitello P., Lorenz T., Fried L., Souers P. 2014, LLNL-CONF-656272.)

炸药分类的思考(HE、IHE 和准 IHE(特 IHE))

炸药可分为高能炸药(HE)和 IHE。HE 是指能量较高的炸药,一般而言,能量比 TNT 高,二代、三代炸药均可称为 HE。如 RDX、HMX、NTO、FOX-12、CL-20、DNTF、TKX-50 等。IHE 有严格的定义,如前所述,一般以美国能源部 11 项鉴定试验方法为标准。因此,HE 和 IHE 之间的绝对划分即在于能否满足这 11 项鉴定试验方法的判据,能够满足即为 IHE,不能满足则为 HE。

除 HE、IHE 分类外,炸药还存在着低感炸药、不敏感炸药、敏感炸药等分类方式,但都没有严格的定义和评价标准。从已有文献报道看(Ian G. C., Richard T. *Journal of Applied Mechanics*, 2011, 78(5): 051012.),低感炸药和不敏感炸药(如 AFX 系列炸药、FOX-7 基 PBX、MTNI 等)离 IHE 的标准有着相当大的距离或空间,从严格的定义来讲,他们都属于 HE。因此,若单纯以 IHE、HE 来划分炸药,客观上将极大地限制新炸药的研究应用。然而目前,国内外尚无“准 IHE”、“特 IHE”的明确提法、概念标准,而这对实际应用来说,是十分必要的。比如:能否把满足 11 项 IHE 标准中的 9 或 10 项,另外 1 或 2 项基本满足,作为“准 IHE”的分类尺度。以苏珊试验为例,其模拟的是机载条件下,弹体万米高空跌落的场景。而在其它可及异常场景,如飞机事故场景,撞击山体或坠机,撞击速度小于 $160 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;车载运输场景,火车对撞速度小于 $138.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,汽车对撞速度小于 $44.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。这些场景下,苏珊试验中撞击速度为不小于 $333 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的要求则显得过于苛刻。因此,若把除苏珊试验接近或基本满足要求之外 10 项都通过的炸药,作为“准 IHE”或“特 IHE”,这对于核武器装备是具有现实意义的。这样,TATB/HMX 基及 LLM-105 基 PBX 有望作为“准 IHE”或“特 IHE”得到应用推广,从而更好地支撑核武器化爆安全,又能实现小型化。

更进一步,可对核武器主炸药建立安全性分级体系。如分为 A、B、C、D 级,A 级代表钝感炸药,其完全满足 IHE 所有指标要求,如 LX-17、PBX-9502;B 级代表准钝感炸药,其安全性指标中 9-10 项满足 IHE 指标要求,可能的如 LLM-105 基 PBX;C 级代表低感炸药,如 PBX-9501 炸药;D 级代表高感炸药,如 HMX 基 PBX-9404 炸药。

与 IHE 标准相关的思考

在 11 项 IHE 鉴定试验方法中,并未考虑火工品和化爆序列的安全性问题。目前,我国兵器有钝感火工品标准(钝感火工品中 A 类为含起爆药的桥丝雷管,B 类为直列式火工品)和传爆药安全试验标准,美国有直列式引信火工品标准,但均没有核武器钝感火工品标准和核武器钝感化爆序列标准。由于火工品意外作用而引起化爆序列爆炸的情形也是可能发生的。因此,必须进行系统考

虑,建立核武器用钝感火工品标准和核武器钝感化爆序列标准。该标准应涉及始发药、传爆药、主炸药及其应力环境相互作用、匹配问题,需要系统研究。

结束语

(1) 美国 IHE 鉴定试验方法具有很强的系统性、科学性和规范性,保持着高度稳定,对 IHE 的概念、方法判据和体系需要更深入地理解认识,结合我国国情,建立我们自己的 IHE 标准及体系十分重要。

(2) 综合性能优异的 IHE 无疑是未来核武器主炸药的重点发展方向,虽然路途艰难,努力寻找和应用新的钝感高能炸药分子仍将是科学家们必然的追求。

(3) 立足有效供给和紧迫需求的实际,打开 IHE 和 HE 之间的巨大“准 IHE”或“特 IHE”空间,同时也可建立核武器主炸药安全性分级体系提供支撑。

(4) 借鉴 IHE 的方法,融合其他安全标准,有必要深入研究核武器钝感火工品(包括始发药、传爆药)和钝感化爆序列的概念和评价体系问题。

田 勇, 韩 勇, 杨光成

中国工程物理研究院化工材料研究所

e-mail: tianyong@caep.cn

Some Understanding and Thinking of Insensitive High Explosive

TIAN Yong, HAN Yong, YANG Guang-cheng

(Institute of Chemical Materials, CAEP, Mianyang 621999, China)

To meet the intrinsic requirement for nuclear weapons safety, the insensitive high explosive (IHE) was proposed by US military and 11 kinds of identification tests for IHEs and 5 kinds for IHE components were established further. However, with the development of HEs, the simplified classification of explosives into HE and IHE has limited the innovation of new explosives. Meanwhile, there are not strict definitions and assessment standards for low-sensitive, insensitive and sensitive explosives. In this article a more detailed classification with four classes for the main charges regarding the sensitivity is proposed. That is, the class A means insensitive and complies all the 11 requirements of IHE, e. g. LX-17, PBX-9502. The class B means they are quasi-insensitive and comply 9–10 the requirements of IHE, e. g. LLM-105 based PBX. The class C means low-sensitive, e. g. PBX-9501. And the class D means sensitive, e. g. PBX-9404. It is also proposed that the concepts of insensitive initiators, primary and booster explosives.