

工业 CT 技术在无损检测 炸药部件中的应用综述^①

王守道

(中国工程物理研究院科技信息中心, 成都 610003)

摘要 综述了美国能源部的有关单位将工业 CT 技术用于高能炸药无损检测的研究状况。劳伦斯利弗莫尔国家实验室(LLNL)、洛斯阿拉莫斯国家实验室(LANL)和潘台克斯工厂(Pantex Plant)在这方面做的大量工作,包括 CT 机的建造、实验方法的制定和图像的重建等。测试样品有 PBX-9502、PBX-9501 和 LX-10-2 炸药的药饼和半球。对 CT 技术在无损检测高能炸药方面的实用性和优越性作出了评价。

关键词 工业 CT 计算机断层照相 高能炸药 炸药装药 无损检测

1 引言

X 和 γ 射线计算机断层照相(CT)是一种先进的成像技术,利用该技术能对材料、部件和装置进行三维的无损检测^[1]。CT 技术自 70 年代问世以来发展很快,目前 CT 装置已发展到第五代,广泛应用于医学、工业和其它科技领域,被誉为最佳的无损检测手段^[2,3]。

铸装或压装高能炸药部件用于武器时,通常需检测密度、气孔和夹杂物等^[4]。然而现行的检测方法不仅工序繁杂、工作量大、速度慢、成本高,而且需对样品进行切割取样才能进行局部密度差的测定,操作中还存在不安全因素。因此用 CT 技术取代常规的检测方法,可降低成本、提高工效。有关文献表明,美国能源部的有关单位在这方面做了不少工作^[5]。多年来这些单位的专家学者对用 CT 技术检测高能炸药部件的可行性、实用性和优越性进行了深入、细致的研究。

2 LLNL 和 Pantex Plant 的联合工作

为将 CT 技术用于高能炸药的无损检测,LLNL 和 Pantex Plant 联合成立了研究小组^[6],做了下面三个阶段的工作:

- (1) 第一阶段(1990~1991 财年)使用 CT 对直径为 1.27cm 的小型 PBX-9502 药柱进行了测试。成像结果表明,可探测出小于 2mm^3 的夹杂物。样品密度的测定值在干-湿法测量值的误差范围以内。并提出了材料特性鉴定的新技术——有效原子序数 Z_{eff} 成像的可能性。
- (2) 第二阶段(1991~1992 财年)研究了直径为 15cm 和 20cm PBX-9502 炸药的压装毛

① 1996 年 7 月 26 日收稿

坯以检测CT的空间分辨率,该毛坯内含有夹杂物和空隙。对PBX-9502的粘结剂组份稍加改变,以进一步检测密度和 Z_{eff} 成像;使用LX-10-2炸药做成的阶梯形锥台样品,以进行散射和射线强度的研究;对直径25cm,壁厚为4cm的PBX-9501压制半球,进行了初步的扫描研究;其间,考虑了高能炸药无损检测对CT系统提出的通用性技术要求。结果显示,在直径为15cm的PBX-9502的毛坯中检出了2mm的夹杂物,在直径20cm的PBX-9502毛坯中探测出了2.5mm的空隙。

(3) 第三阶段(1992财年)的工作是在完成第二阶段工作的基础上,放大实验,以检测外径大到40cm的压装高能炸药半球,并再回到小型炸药样品上,使评价炸药组成和密度变化的研究进一步深入。

3 LLNL的工作

3.1 工业CT中的多能技术

LLNL为进行材料特性鉴定对发展多能CT技术付出了很大的努力^[7],这是因为多能CT技术能提供可靠的 Z_{eff} 、质量分数和密度的严格计算。多能CT技术具有准确、可靠和应用范围广的优点。他们既使用了同位素源,也使用了X射线源。所测试的PBX-9502药片直径为12.7mm。由实验数据所计算的PBX-9502的 Z_{eff} 平均值为7.8,这很接近于期望值。检测得出的密度平均值为 $1.9\text{g}/\text{cm}^3$,这与干-湿法的密度测量值 $1.9\text{g}/\text{cm}^3$ 相一致。

3.2 在小型炸药件上的计算机断层照相^[8]

以前在15~40cm的大炸药压制毛坯上,用CT技术进行空隙和夹杂物的检测。因为穿透大的炸药件需要的辐射能高,且灵敏度低,故使用了小的炸药件。所用的三个小型试件都是圆锥形,顶端扁平,装药为PBX-9501,底端直径为22.2mm。在此小型炸药样品的测试中,使用一维和二维的探测器阵列CT系统,很小的空隙或其它疵病均能成像,其空间分辨率为 $10\sim 100\mu\text{m}$ 。

依据CT成像系统能定量地提供X射线衰减体积分图的原理,LLNL进行了有效原子序数的实验测定。X射线衰减是组成和密度的函数,通过测量在两种或多种特定能量下的射线线性衰减系数,并取其比值,将密度单位消去,即获得表征此炸药样品有效原子序数 Z_{eff} ,此 Z_{eff} 也叫做炸药的“平均组成”。从 Z_{eff} 的测试中,可看到炸药和粘结剂有明显分离现象。

这种利用多能CT技术以测定 Z_{eff} 和检测组成变化的方法,是其它任何无损检测手段都做不到的^[4]。

3.3 CT技术在LLNL的应用^[9]

LLNL已具有的CT技术是很先进的,在这方面无论是人力还是仪器设备,他们都作出了很大的投入。他们的研究包括建立CT扫描仪、数据处理、图像重建、显示及解析算法等^[10],其先进的CT技术已在工业、科技和军事方面得到了广泛应用,被测样品的大小从 1mm^3 到 1m^3 。

CT无损评价的应用问题可分为两类:(1)无损检测问题;(2)材料特性鉴定问题。第一类问题要求探测识别裂缝、裂纹、空隙、夹杂物及其尺度大小,LLNL所有的CT机都可解决这类问题。第二类材料特性鉴定问题,要求定量的材料分析,如密度、 Z_{eff} 、质量分数和

不均匀性等,使用核光谱 CT 扫描仪是完成这类无损评价问题的最好选择。作为具体实例,他们详细介绍了高能炸药空心装药、弹道靶材料、导弹鼻锥和反应堆燃料管 CT 无损评价的有效性。多年来的各种实验都证明 CT 技术是无损检测和材料特性鉴定的有力工具,他们将继续改进 CT 机及其软件,使其更好地为武器工业服务。

4 LANL 的工作

在 LANL,作为产品质量保证程序的一部分,高能炸药密度的测量必须准确到 0.05%^[1],然而现时的测量是用破坏取样方法进行的,为了用 CT 方法对炸药件进行 100% 的无损检测,他们于 1990 年前做了第一阶段的工作。用模拟材料探讨方法的可行性,确定 CT 系统测量密度的精度,这种精度在今后的炸药件测试中是能达到的。模拟试样为直径 10cm、厚 2cm 的聚四氟乙烯。实验中射束硬化、散射、离焦辐射及样品的局部不均匀性等因素的影响,都已设法消除。使用市售的 CT 扫描仪,样品的密度测量精度可达 0.02%。认为密度准确测量主要取决于射线强度、能量优化程度、准直效果和积分时间等。

5 结 论

将 CT 技术应用于炸药检测,特别是核武器所用高能炸药的无损检测,已进行了深入研究,并达到了预期要求。其主要检测项目:(1) 空隙、裂缝和夹杂物的探测(空间分辨率);(2) 密度差的检测(对比度分辨率)。若藉助目前最先进的 CT 机,其检测效果当会更好。另外,CT 技术可用于测定炸药的 Z_{eff} 和组成的不均匀性,这是其它无损检测手段都做不到的。国产“XN-1300Y 射线 CT 机”已经建成,并投入使用,能检测最大直径 300mm、最大长度 1m 左右的各种密度材料的产品,空间分辨率为 0.5mm,能检出最小钢针直径为 0.1mm,能分辨由厚薄计量规组合出的 0.03mm 的缝隙^[2]。因此,使用价格便宜、性能可靠的国产 CT 机,完成高能炸药的无损检测,已具有一定的现实意义。

参 考 文 献

- 1 Martz H E, Roberson G P, et al. High Explosives(PBX-9502) Characterization Using Computerized Tomography. DE 90 008 170(UCRL-ID-103 318), 1990.
- 2 先武,李时光等. 最佳无损检测手段——工业 CT 技术的发展. 光电工程, 1995, 22(4): 51~57
- 3 张俊哲. 国外 ICT 的发展与应用. 国外科技资料, 1993(5): 1~18
- 4 Perkins D E, Martz H E, et al. Computed Tomography Experiments of Pantex High Explosives. DE 92 013 517(UCRL-CR-110 256), 1992.
- 5 Viskoe D A, Stupin D M. X-ray Computed Tomography for Inspecting Industrial Parts. DE 91 011 390(LA-UR-91-1 196), 1991.
- 6 Martz H E, Roberson G P, et al. Computed Tomography of PBX-9502 High Explosives at LLNL. DE 90 008 305(UCRL-102 632), 1989.
- 7 Schneberk D J, Martz H E, et al. Multiple Energy Techniques in Industrial Computerized Tomography. DE 90 017 518(UCRL-JC-103 762), 1990.

- 8 Ryon R W. Computed Tomography on Small Explosive Parts. DE 94 015 042(UCRL-ID-117 442), 1994.
- 9 Roberson G P, Martz H E, et al. X-and Gamma-ray Computed Tomography Applications at LLNL. DE 93 018 645(UCRL-JC-113 741), 1993.
- 10 Azevedo S G, Martz H E. Computerized Tomography Reconstruction Technologies. E&TR, UCRL-52 000-90-11. 12, 1990.
- 11 Morris R, A, Harris L. D. High Precision Density Measurements Using Tomography. DE 91 000 436(LA-UR-90-2 988), 1990.

REVIEW ON APPLICATION OF COMPUTER TOMOGRAPHY NONDESTRUCTIVE TESTING HIGH EXPLOSIVE CHARGES

Wang Shoudao

(Science and Technique Information Center, CAEP, Chengdu 610003)

ABSTRACT The application status of computer tomography (CT) in nondestructive testing high explosive charges is reviewed. The U. S. Department of Energy (DOE)-subordinated LLNL, LANL and Pantex Plant carried on a series of work in this field including setting up CT scanners, formulating experimental methods and image reconstruction, etc. The compressed cylindrical and hemispheric charges of PBX-9502, PBX-9501 and LX-10-2 were tested to evaluate the feasibility and superiority of CT as a non-destructive testing method for qualification of high explosive charges.

KEYWORDS computer tomography, CT scanner, high explosive charge, nondestructive testing.



作者简介 王守道(Wang Shoudao), 1962年毕业于山东大学化学系, 现为中国工程物理研究院科技信息中心副研究员, 长期从事炸药性能测试与科技情报工作。