

doi:10.16576/j.ISSN.1007-4414.2025.01.003

透光防护设备在静爆荷载下的试验研究与应用*

徐先洋

(南京恒威防护设备有限公司, 江苏 南京 210000)

摘要: 文章采用模拟给定抗力等级为核 6 级、常 6 级爆炸荷载直接加载方式, 对透光防护设备进行静态抗爆试验。试验表明: 采用多层复合玻璃制备的透光防护天窗设备能抵抗 0.05 MPa 地面核爆炸冲击波的作用, 满足相应抗力等级下的强度要求, 试验结果可为透光防护设备在地下防护工程等场所中的应用提供了有力支撑。

关键词: 人防工程; 透光防护设备; 防护天窗; 静态抗爆试验; 压力应变评估

中图分类号: TJ05

文献标识码: A

文章编号: 1007-4414(2025)01-0010-04

Experimental Research and Application of Transparent Protective Equipment under Static Explosion Load

XU Xian-yang

(Nanjing Hengwei Protective Equipment Co., Ltd, Nanjing 210000, Jiangsu, China)

Abstract: In this paper, the static anti-explosion test of the light transmission protection equipment is carried out in the blasting test pit by simulating the direct loading method of the given resistance level of nuclear 6 and normal 6. Experiments have shown that the transparent protective skylight equipment made of multi-layer composite glass can resist the impact of 0.05 MPa ground nuclear explosion shock waves and meet the strength requirements at corresponding resistance levels, which provides a strong support for the application of light transmission protection equipment in civil air defense engineering and other places.

Key words: civil air defense engineering; transparent protective equipment; protective skylight; static explosion resistance test; pressure strain assessment

0 引言

为保证围护结构的完整性, 地下防护工程最简便有效的方法是建造全封闭的防护结构, 仅在人员出入、设备进出以及进排风通道上设置有限尺寸的出入口, 并采取防护设备进行防护。这种做法虽然结构简单、防护可靠, 但内部空间封闭且单调, 人们在地下空间行走往往会觉得憋闷、视觉受阻, 需要充足的内部人工照明设施和多样的内部装修才能有所改善。

透光天窗为建筑中庭提供了充足的采光, 可为室内空间补充适量天然采光, 提高了工作人员的视觉舒适度的同时也减少了室内采光耗能。但在实际工程中, 通常只关注天窗的美观效果, 对其采光设计只停留在满足采光标准要求的阶段, 并未考虑抗爆等应力要求。且现阶段实际应用中的防护设备往往都是钢结构面板整体封堵的, 在防护设备的阻挡下, 不利于室内外情况信息的有效、快速传递; 而观察窗作为防护设备的一部分, 不仅满足相应的抗力、防护要求, 还可通过观察窗为内外情况、信息沟通提供便利。

1 试验与研究方法

1.1 试验内容与目的

防护设备的抗爆性能试验是用来证明其安全可

靠、功能实用的必要环节。通过抗爆性能试验可以检测出防护设备在正常运行过程以及受冲击波作用下的各项参数, 这些参数可以为应用于地下防护工程的新型防护设备提供试验依据。因透光防护天窗、防护门观察窗在战时主要承受核武器和常规武器爆炸冲击波作用, 根据相关工程设计规范^[1-2]的相关规定可不验算动载作用下的结构变形。

因此, 此试验采用模拟给定抗力等级为核 6 级、常 6 级爆炸荷载直接加载方式, 对由多层复合玻璃^[3-4]制备的透光防护天窗和观察窗进行爆炸试验, 测量爆炸冲击波压力、天窗的变形及应变, 评估设备结构受力及变形状态, 检查是否有超过设计要求的变形和破坏, 并验证两种设备的防护功能在爆炸荷载作用下的有效性和安全可靠, 从而进一步指导和优化结构的设计。对于核爆炸产生的辐射问题, 在实际应用中可在天窗设备上添加等效的覆土厚度以满足防辐射要求, 笔者不再进一步阐述。

1.2 试件的制备

该试验中的透光防护天窗由固定框架和 3 块透光材料单元等部件构成。其固定框架采用标准的 22B 型工字钢和 22 型号的槽钢根据相应规范文件^[5]

* 收稿日期: 2024-04-12

作者简介: 徐先洋 (1990-), 男, 安徽六安人, 硕士, 主要从事人防、国防防护设备方面的研究与设计工作。

焊接而成。透光材料单元则由单块尺寸 1 100 mm×2 100 mm×19 mm 的钢化玻璃和厚 2.48 mm 的 SGP 胶片夹层材料多层复合而成。

该试件 3 块透光材料单元 1#、2# 和 3# 分别由 5 层浮法玻璃夹 4 层 SGP 膜试样、5 层钢化玻璃夹 4 层 SGP 膜试样和 4 层钢化超白玻璃夹 3 层 SGP 膜组成并一一对应, 同时进行试验, 以便在检验上述设计可靠性的同时, 研究多层复合玻璃结构的差异性, 为该结构实际工程应用提供更多的试验依据。装配后实物图如图 1 所示。



图 1 试件的装配实物图

1.3 试验原理及方法

抗力试验依据标准^[6]在高抗力密闭爆坑中进行。爆坑为标准的核爆炸压力模拟试验设备, 其加载试验原理示意图如图 2 所示, 采用化学爆炸的方式运行加载试验^[7]。试验时在爆坑内距离透光防护设备和观察窗设备的正上方 500 mm 处牵引一根长度 52 m 且均匀布设总药量为 260 g TNT 的工业引爆索(导爆索)及雷管。安装完毕后, 关闭静爆坑防护盖, 并添加橡胶条使其处于密封状态, 利用导爆索爆炸产生的冲击波使高压气体在受限空间中充满整个空腔, 形成较为均匀的模拟核爆压力荷载, 荷载作用于待测防护设备上, 并进行记录。

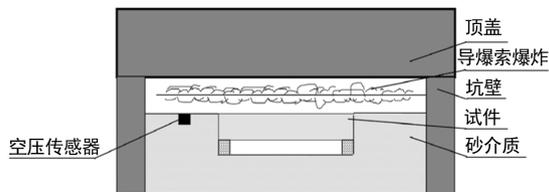


图 2 高抗力爆炸试验坑原理

1.4 其它测试内容与测试系统

此次试验采用应变测试系统和电荷测试系统, 所选传感器和仪器型号如下。

数据采集仪: 江苏东华测试技术股份有限公司, 型号 DH5922N (测试应变和位移信号); 成都纵横有限公司, 型号 JV5200 (测试压力信号)。

应变调理器: 江苏东华测试技术股份有限公司, 型号 DH3810。

压力传感器: PCB 公司, 型号 113B24。

电阻应变片: 中航电测应变计, 型号 BE120-3AA-P500。

位移传感器: KTC 拉杆式直线位移计, 300 mm。

在试验现场对透光防护天窗设备和观察窗设备进行填坑与装药之前, 需分别对采光顶板设备中的测试点进行布置。此次的测试点包括 4 个压力测点、3 个应变测点、2 个位移测点。

各测点安装情况说明如下。

(1) 压力测点

如果将压力传感器预埋在透光防护天窗设备上, 则需在设备上钻孔, 这势必会破坏设备的结构。因此, 压力测点并不直接安装在透光防护天窗设备上, 而是布置在相同的压力场中, 并分布在设备的四周, 压力测点布置图如图 3 所示。试件的上表面、压力传感器敏感面均与砂表面平齐, 4 个压力测点所测试信号即为试件所受的爆炸冲击荷载信号。冲击荷载经由导线送入放大器进行信号放大, 数据采集仪接收放大信号并进行采样,

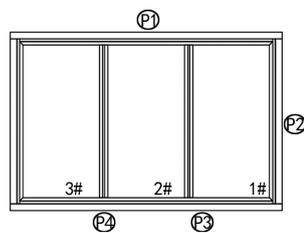


图 3 压力测点布置图

再将数字信号传送至控制计算机, 由配套软件进行处理分析。测试参数为防护设备上作用的反射压力, 记录荷载峰值、正压作用时间和峰值上升时间。

(2) 应变测点

此次试验的应变信号通过在相应位置贴应变片的方式获取。试验中, 在透光防护天窗设备每个单元中心位置的正下方及下表面中心处各粘贴 1 片单轴应变片, 共粘贴 3 只应变片, 应变测点布置图如图 4 所示。

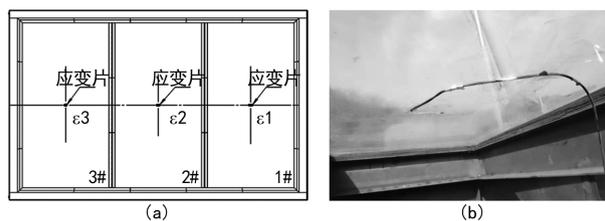


图 4 应变测点布置图

(3) 位移测点

为检测与记录透光防护天窗设备在试验过程中的位移变化量, 此次试验采用 2 组位移传感器, 其中一个位移传感器测点布置在设备两纵向工字钢的中心处, 另一个位移传感器测点则布置在靠近 1# 透光材料处纵向工字钢边缘且距离第一个传感器测点 500 mm 处, 支座边缘处测点方向与纵向工字钢方向垂直, 位移测点布置图如图 5 所示。

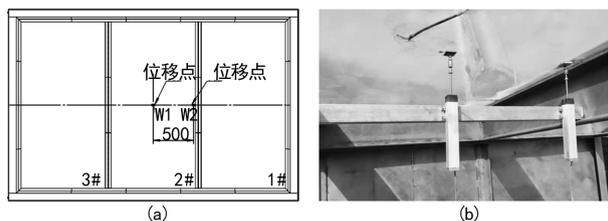


图5 位移测点布置图

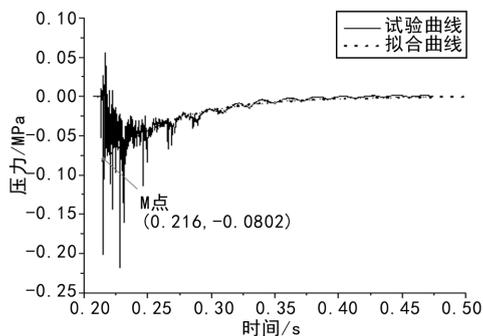
1.5 试验结果与分析

1.5.1 压力测试结果

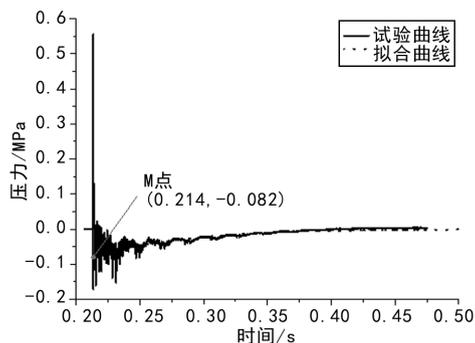
超压峰值如表1所列。由表1可以看到各点压力有所差异,最大0.082 MPa,最小0.062 MPa,平均为0.071 8 MPa,超过了试验预设的0.05 MPa的地面压力值。因此,该透光材料符合人防设备的设计要求。

表1 超压峰值 /MPa

测点	压力	测点	压力
P1	0.063	P3	0.080
P2	0.062	P4	0.082



(c) P3点压力曲线图

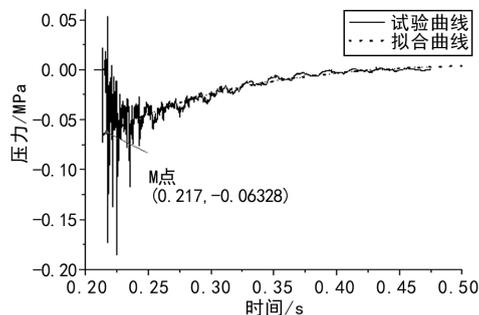


(d) P4点压力曲线图

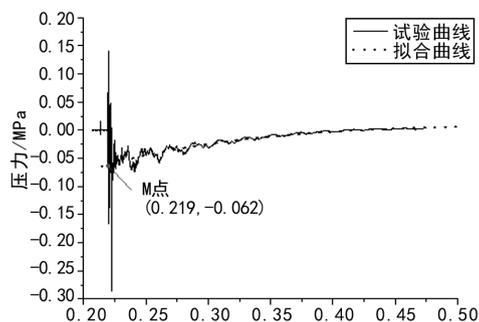
图6 压力时程曲线

压力测试信号如图6所示。从图6中可以看到各测点的信号一致性良好,说明此次试验压力分布均匀,符合模拟核爆炸试验冲击波作用的要求。

试验中记录到的压力数据带有较多的毛刺及振荡,为方便分析,需对降压段按指数衰减方式进行拟合,并将结果与实测数据绘在一起。由图6可以看到拟合的曲线与原始数据吻合良好,从压力峰值以后单调下降,下降时间很长,各点均在0.3 s以上,符合核爆炸冲击波荷载的基本特征。



(a) P1点压力曲线图



(b) P2点压力曲线图

1.5.2 应变测试结果

应变片测点共3个数据点,测试结果如图7所示。对比不同厚度的透光材料单元在静爆作用下的差异可以看到,该试验中3#透光单元总厚度小于1#和2#,而1#和2#透光材料厚度相等。从图7中可以看出3#应变的峰值最大,这符合试验预期。另外,图7中应变曲线处于一种弹性变化范围内,无残余变形,这说明被测试的设备单元没有发生不可逆的变形或破坏,各单元承受住了峰值压力0.072 MPa的核爆炸冲击波作用,达到了预期的抗力指标。

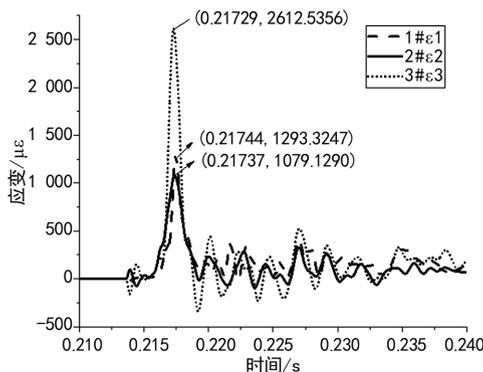


图7 应变时程曲线

1.5.3 位移测试结果

此次试验的位移测点共2个,即W1与W2,测试结果如图8所示。从图8可以看出,透光材料与整套试验设备在静爆载荷作用下的变形非常小,仅1.0

mm,整个透光材料单元在试验的爆炸荷载作用下处于弹性状态,无塑性变形,符合设计要求,达到了试验目标。

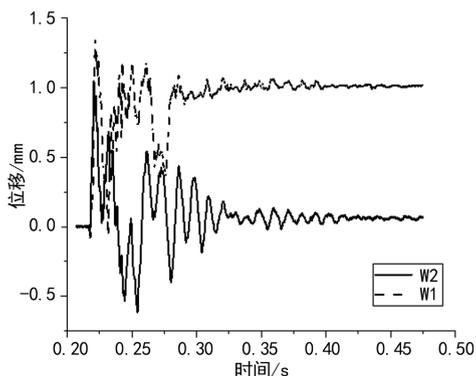


图8 位移时程曲线图

2 结论

此次试验主要以透光防护天窗设备为例,通过试验来检验所设计的防护设备整体结构及透光材料的可靠性和有效性。结果如下。

(1) 透光防护天窗设备中,透光材料的外观未出现明显的变形和裂纹,透光材料单元最大变形仅1 mm且能够完全恢复,透光单元响应处于弹性状态,结构整体安全性良好,能够抵抗试验中的爆炸荷载,即试验所设计的三种透光材料单元结构均能满足抵抗0.05 MPa核爆炸冲击波作用的要求。

(上接第9页)

音速火焰的燃值,强化粉末在喷涂火焰中的熔融温度,减少了粉末飞溅。测试结果显示,结合强度为70.6 MPa,气孔率为0.82%,涂层厚度1.10 mm。

4 结语

针对加氢循环泵耐磨涂层性能的研究及制备工艺试验,文中采用超音速喷涂工艺制备加氢循环泵表面防护防护层。通过制备超音速喷涂 Colmonoy 88、Colmonoy 75 粉末涂层并进行性能检测得出:超音速喷涂 Colmonoy 88 粉末涂层结合强度、气孔率、涂层厚度达到设计要求;涂层组织达到最佳状态;耐磨损性能良好。Colmonoy 75 钨含量高,粉末熔点高,自熔性差;Colmonoy 75 粉末因碳化钨组织的作用,耐腐蚀性能整体优于 Colmonoy 88 粉末涂层。由于加氢循环泵是在高温、腐蚀和磨损的环境中服役,其最终失效是几种条件综合作用的结果,其中耐腐蚀性能

(2) 试验结果表明,所设计的透光防护单元支撑结构体系合理、有效、安全,能够抵抗试验的爆炸荷载,达到相应的抗力要求。

(3) 进一步对比三块透光单元跨中最大应变得知,由5层浮法玻璃复合而成的透光单元跨中最大应变为1 293 $\mu\epsilon$,5层钢化玻璃复合而成的透光单元跨中最大应变为1 079 $\mu\epsilon$,二者相差19.8%;由4层超白玻璃复合而成的透光单元跨中最大应变达2 613 $\mu\epsilon$,比前面两者分别增大了142%和102%。这表明,玻璃的种类对复合单元的结构刚度有一定影响,但玻璃厚度的影响要大得多,5层复合玻璃的刚度是4层复合玻璃刚度的2倍以上。

参考文献:

- [1] GB 50225-2005.人民防空工程设计规范[S].
- [2] GB 50038-2005.人民防空地下室设计规范[S].
- [3] 范晨.静载作用下复合多层玻璃的抗弯性能研究[D].南京:南京航空航天大学,2022.
- [4] Fan C,Zhang Y,Ma H.Evaluation of Calculation Methods for Effective Thickness of Laminated Glass[C].The 9th International Academic Conference for Graduates, NUAA, 2021:113-118.
- [5] GB 50017-2017.钢结构设计标准[S].
- [6] RFJ 04-2009.人民防空工程防护设备试验测试与质量检测标准[S].
- [7] 王洪涛,刘会涛,江勇.建筑幕墙抗爆炸冲击波性能检测技术[J].建设科技,2009(1):15-17.

是首要条件,其次是耐磨损性能,同时高温也是加剧腐蚀和磨损的主要因素。此次试验验证了采用超音速喷涂 Colmonoy 75 粉末制备加氢循环泵表面防护层在加氢循环泵实际使用中有极为重要的价值和意义。

参考文献:

- [1] 王群.热喷涂(焊)金属 WC 涂层组织、性能及抗磨粒磨损行为研究[D].长沙:湖南大学,2011.
- [2] 高晓颖,郑超,孟保利,等.工艺参数对 HVOF 热喷涂 WC-10% Co4%Cr 涂层性能的影响[J].硬质合金,2023,40(6):457-466.
- [3] 朱建勇,覃思思,欧阳晟,等.超音速火焰喷涂 WC-CrC-9Ni 硬质合金涂层微观组织及摩擦磨损性能研究[J].湖南有色金属,2023,39(4):63-67.
- [4] 陈磊.陶瓷颗粒增强镍基合金熔覆层的制备及其磨损特性研究[D].北京:华北电力大学,2022.