

20 升球形爆炸测试系统用户手册

东北大学工业爆炸及防护研究所

2010 年 11 月 24 日

目录

1 实验原理与设备简介	1
1.1 基本原理	1
1.1.1 最大爆炸压力与爆炸指数	1
1.1.2 爆炸下限	1
1.1.3 极限氧浓度	2
1.2 测定标准	2
1.3 20L 爆炸测试系统工作原理	3
1.4 主要技术参数	5
1.5 设备与部件清单	5
1.6 场地和配套设备	6
2 安全注意事项	6
3 实验前的准备	7
3.1 电路检查	7
3.2 气路检查与准备	7
3.3 计算机软件	8
3.4 数据采集设置	8
3.4.1 默认设置参数	8
3.4.2 传感器标定	9
3.4.3 空白试验	9
3.5 电源标定	12
4 实验方法与步骤	13
4.1 选择点火方式	13
4.2 单次爆炸实验步骤	14
4.2.1 化学点火模式下的单次试验	14
4.2.2 静电点火实验步骤	15
4.2.3 清洗	15
4.3 爆炸压力、爆炸指数的测定	16
4.4 爆炸下限的测定	17
4.5 极限氧浓度的测定	17
5 仪器的标定	17
6 常见故障的检查与维修	18
7 联系方式	18

1 实验原理与设备简介

1.1 基本原理

1.1.1 最大爆炸压力与爆炸指数

最大爆炸压力 p_{\max} 、最大爆炸压力上升速率及爆炸指数 K_{st} ，是反映爆炸猛烈程度的重要参数，用于爆炸泄压设计和爆炸抑制设计。

测定的基本原理是在爆炸容器内形成粉尘与空气的混合物（粉尘云），用一定能量的点火具在容器中心引爆，用压力传感器和数据采集系统记录爆炸过程的压力时间曲线，通过分析爆炸压力时间曲线得到 p_{\max} 和 K_{st} 。测定爆炸压力和爆炸指数通常采用两个 5kJ 的化学点火头。

一次测试的最大爆炸压力和最大压力上升速率分别记为 p_m 和 $\left(\frac{dp}{dt}\right)_m$ 。规格化爆炸

压力上升速率 K_m 定义为：

$$K_m = \left(\frac{dp}{dt}\right)_m \cdot V^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

式中， V 为测试装置的容积。

一种可燃粉尘的最大爆炸压力是在宽的粉尘浓度范围内，测得的爆炸压力 P_m 的最大值，记为 p_{\max} 。在宽的粉尘浓度范围内试验，得到的升压速率 $\left(\frac{dp}{dt}\right)_m$ 的最大值为该种

粉尘的最大压力上升速率，记为 $\left(\frac{dp}{dt}\right)_{\max}$ 。爆炸指数 K_{st} 定义为：

$$K_{st} = \left(\frac{dp}{dt}\right)_{\max} \cdot V^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

1.1.2 爆炸下限

粉尘浓度处于一定的范围以内时，粉尘云才可以爆炸。当粉尘浓度太低时，粉尘燃烧放出的热量不足以维持火焰传播。当粉尘浓度太高时，粉尘过量，燃烧释放的热量被过量的粉尘吸收而不能维持火焰传播。可爆粉尘浓度的下限和上限分别称为爆炸上限和爆炸下限。爆炸上限在现有技术条件下无法准确测定。

粉尘云的爆炸下限是粉尘云在给定能量的点火源作用下，刚好发生自动持续燃烧的最低浓度。爆炸下限反映了粉尘爆炸的最低粉尘浓度。在实际的工艺中，可以采用控制粉尘浓度在爆炸下限以下的方法防止爆炸发生。爆炸下限也称最低可爆浓度。

测定设备为 20 升爆炸容器。单次爆炸实验的操作步骤和最大爆炸压力测定的步骤一样。判定是否爆炸的标准是爆炸压力是否大于点火具本身的爆炸压力 0.05MPa。测定爆炸下限常用的点火具为 2 个 1kJ 的化学点火具 (CEN)，或两个 1.25kJ 的化学点火具 (ASTM)、或 2 个 5kJ 化学点火具 (GB)。

从某一可以发生爆炸的浓度开始，降低粉尘浓度，直到爆炸不发生。不发生爆炸的粉尘浓度记为 C_1 ，发生爆炸的粉尘浓度记为 C_2 。爆炸下限 LEL 记为，

$$C_1 < \text{LEL} < C_2 \quad (3)$$

1.1.3 极限氧浓度

当氧含量降低到一定程度时，无论粉尘浓度怎样变化，粉尘云都不会发生爆炸。极限氧含量是能使粉尘云着火的混合物中氧气量的最小百分数。

点火具及判定是否爆炸的方法与测定爆炸下限相同。

从某一可爆的氧浓度开始，逐渐降低氧浓度，直到在该氧含量下，所有粉尘浓度的粉尘云都不发生爆炸。不发生爆炸的氧浓度记为 O_1 ，发生爆炸的浓度记为 O_2 。极限氧浓度 LOC 记为，

$$O_1 < \text{LOC} < O_2 \quad (4)$$

1.2 测定标准

- GB/T 16426-1996 粉尘云最大爆炸压力和爆炸指数测定方法；
- GB/T 16425-1996 粉尘云爆炸下限浓度测定方法；
- GB/T 803-1989 空气中可燃气体爆炸指数的测定；
- ISO 6184/1-1985 Explosion protection systems - Part 1 : Determination of explosion indices of combustible dusts in air;
- ISO 6184/2-1985 Explosion protection systems - Part 2 : Determination of explosion indices of combustible gases in air;
- EN 14034-1 Determination of explosion characteristics of dust clouds – Part 1: Determination of the maximum explosion pressure p_{\max} of dust clouds;
- EN 14034-2 Determination of explosion characteristics of dust clouds – Part 2: Determination of the minimum rate of explosion pressure rise $(dp/dt)_{\max}$ of dust clouds;
- EN 14034-3 Determination of explosion characteristics of dust clouds – Part 3: Determination of the lower explosion limit LEL of dust clouds;
- EN 14034-4 Determination of explosion characteristics of dust clouds – Part 4: Determination of the limiting oxygen concentration LOC of dust clouds;
- ASTM E 1226-2005 Standard Test method for pressure and rate of pressure rise for

- combustible dusts;
- ASTM E1515-2007 Standard test method for minimum explosible concentration of combustible dusts。

1.3 20L 爆炸测试系统工作原理

20 升爆炸测试系统的工作原理如图 1 所示。测试系统包括爆炸容器、控制与数据采集系统。控制箱包括可编程控制器、电火花发生器、触控屏、压力采集接线端子板等。PLC、触控屏和计算机通过局域网相连。实验过程控制由 PLC 实现。

容器内的压力变化过程经压力传感器和变送器转变为电信号，由数据采集系统采集并保存在计算机中。通过对压力—时间曲线分析可以自动得到本次实验的最大爆炸压力 p_m 和规格化最大爆炸压力上升速率 K_m 。通过不同粉尘浓度或不同气体组分的一系列爆炸试验得到一系列的 p_m 和 K_m ，作出 p_m 和 K_m 相对粉尘浓度和可燃气体浓度的曲线得到 p_{max} 、 K_{st} 或 K_g 。

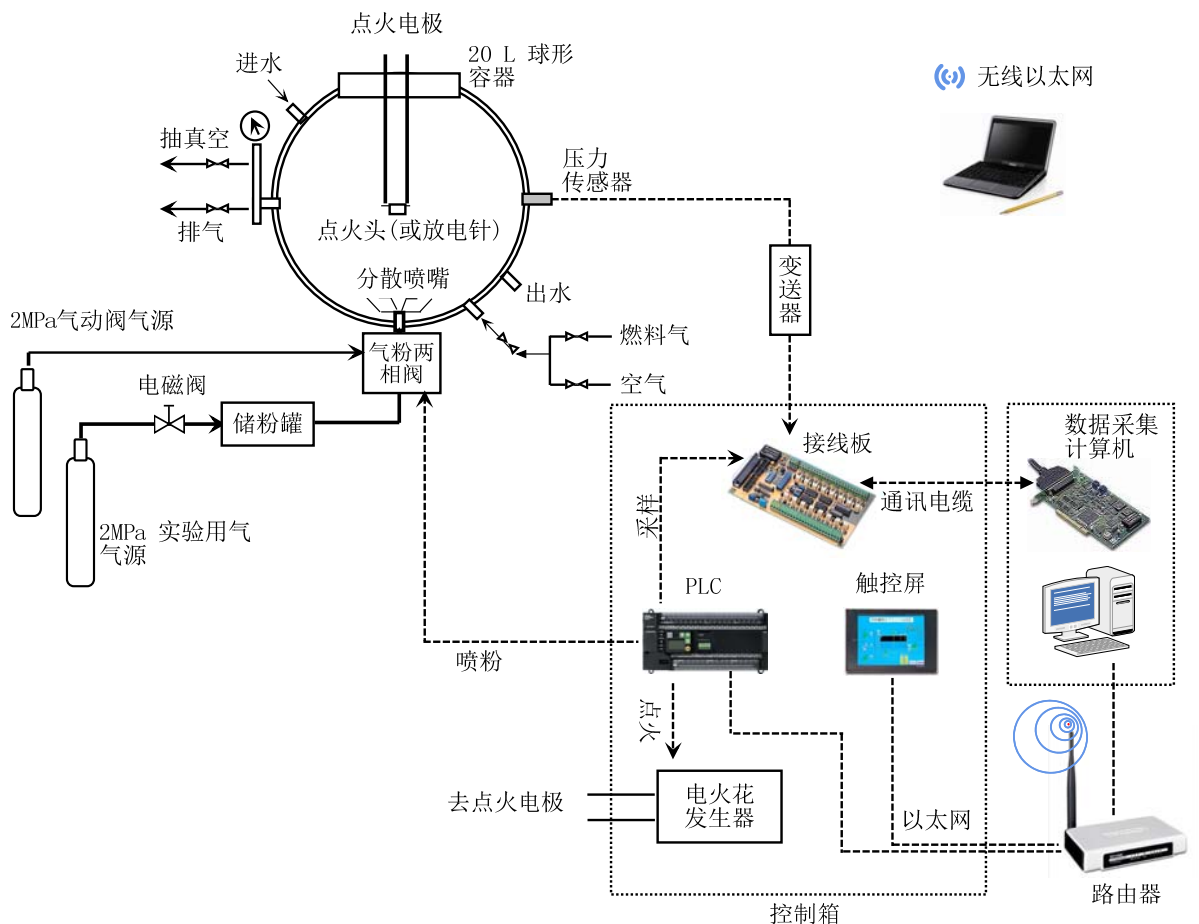


图 1 20 升爆炸测试系统工作原理

控制系统中集成了点火能量为 2kJ~10kJ 的大能量电火花发生器。因为静电点火能

量集中在容器中心，而化学点火能量在较大的空间释放能量，因此化学点火猛烈一些。静电点火方式测得的爆炸压力和爆炸指数低于化学点火。但是静电点火产生的冲击波远小于化学点火，所以在做爆炸极限实验的时候粉尘的爆炸情况对比很明显。

20L 球形爆炸容器为不锈钢双层结构（图 2）。爆炸容器的夹层（夹套）内可充水以保持容器内的温度恒定。容器上设有观察窗，通过观察窗可观察到点火和爆炸的火光。

容器设有抽真空、排气、燃料气引入、空气引入、压缩空气清洗接口。抽真空接口附近安装真空表。

容器外的底部装有可通过气体粉尘混合物的气粉两相阀。该阀通过气动方式开启和关闭，以保证开启和关闭的速度。气动活塞的移动通过两个电磁阀控制。在容器内的底部安装反射式喷嘴，可将粉尘均匀分散在爆炸容器中。

容器壁面安装有压电型压力传感器。该传感器可测定喷粉进气和爆炸过程的动态压力。

容器盖采用类似高压锅的压紧结构，可一人操作。容器盖旋紧后，转动安全限位开关，控制器可通过安全限位开关的电信号确认容器盖就位。

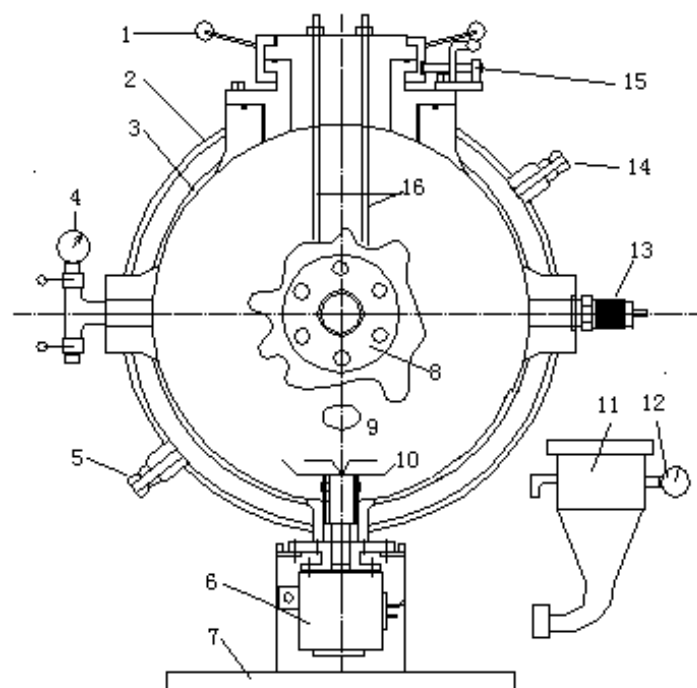


图 2 20 升爆炸测试测试容器示意图

- 1 操作手柄 2 夹套外层 3 夹套内层 4 真空表 5 循环水人口 6 气粉两相阀（瑞士） 7 底座 8 观察窗 9 吹扫进气口 10 分散阀 11 高压储粉罐 12 电接点压力表 13 压电型压力传感器（美国） 14 循环水出口 15 安全限位开关

1.4 主要技术参数

表 1 主要技术参数

项目	参数及说明
设备型号	ETD-20L DG
额定电压	220V 50Hz
额定电流	5 A
爆炸容器	20L 球形，带冷却（或加热）夹套
爆炸容器工作压力	2.0 MPa（表压），最大 3.5MPa
爆炸容器工作温度范围	20~135℃（瞬时温度为 1650℃）
粉尘分散压力	2.0 MPa（表压）
气粉两相阀活塞驱动压力	2.0 MPa（表压）
真空表精度	0.4%满量程
数据采集卡	分辨率 12Bit；频率：100kHz
压电传感器	动态量程：1.379MPa（0~5V 输出），可用量程：2.758MPa（0~10V 输出）。分辨率：0.021kPa。谐振频率：>500kHz。非线性度：<1%。配合 ICP 恒流源，输出 0~5V。
点火能量	化学电火：2kJ~10kJ；静电点火：2kJ~10kJ
气体引入方式	手动阀门
配气方式	分压法手动配气
控制方式	本地控制和远程控制：面板按钮、触控屏（人机界面）、计算机
控制箱与计算机通讯方式	以太网
软件	ExTest 2010 爆炸测试系统。支持本地、远程实验过程控制、实验数据管理和报表

1.5 设备与部件清单

表 2 20L 球形爆炸测试系统（ETD-20L DG）设备与部件清单

设备与部件	数量	制造商
20L 爆炸测试容器 ETD-20L DG	1 套	东北大学
控制箱 ETC-20L DG	1 台	东北大学
气粉两相阀（集成在爆炸容器上）	1 套	瑞士 Adolf Kühner AG
压力传感器（集成在爆炸容器上）	1 只	美国 PCB Piezotronics
7 英寸触控屏（集成在控制箱上）	1 台	北京昆仑通态

设备与部件	数量	制造商
可编程控制器（集成在控制箱中）	1 台	日本欧姆龙
数据采集器（安装在用户计算机中）	1 台	台湾研华
10J~10kJ 电火花发生器（集成在控制箱中）	1 台	东北大学
空压机（罗威 3P）	1 台	山东罗威
真空泵（2TW-4E）	1 台	浙江挺威
15MPa 转 2Mpa 减压阀	2 只	上海减压阀厂
配套管件	1 套	东北大学
控制电缆	1 套	东北大学
爆炸测试系统软件 ExTest 2010	1 套	东北大学

1.6 场地和配套设备

接地端子：接地电阻小于 $2\ \Omega$ 。

场地尺寸：3m×4m。

排气与排尘：测试容器通常采用移动式除尘罩，也可安装在通风橱（定制，宽 1.0m，台面高 0.5m，有效空间高 1.0m）内，或靠窗布置。移动除尘器 1 台。

电源：220V，10A。

气源：40L 压缩空气瓶 2 只（用户自备）。

化学点火具：化学点火具由熔断丝和烟火药组成。烟火药的成分为 200 目以下的铅粉、过氧化被和硝酸钡按 4:3:3 的比例混合而成。

2 安全注意事项

应严格按本说明使用测试设备，特别注意以下事项：

(1) 当使用静电点火时，在充电、放电和电容泄放的过程中不应用手（或通过导体）接触高压点火电极、电缆、插头、插座的金属部分。靠近 20L 容器一端的电缆末端的插头外的绝缘皮不耐高压！在接触该插头之前，应确保电容上的电压已经泄放到安全电压（小于 36V）。

(2) 静电点火结束后应立即关闭高压电源并泄放电容上的残余电压，或拔出控制箱一端的高压点火插头。在拔出 20L 容器一端的高压电缆插头前应关闭高压电源、泄放电容上的电压。在拔出 20L 容器一端的高压电缆插头时，应把持在插头绝缘部分，不应在电缆上操作，否则插头和电缆容易脱焊断开。

(3) 仅当电容电压低于 200V 时可以使用“快速泄放”按钮进行快速泄放。如果电容电压高于 200V 直接按“快速泄放”将烧毁用于快速泄放的真空继电器。

(4) 仅当容器内压力和大气压完全平衡时才可打开爆炸测试容器的盖。

(5) 爆炸试验后首先打开排气阀排气，排气应排入活动吸尘罩、通风橱或通过管道排至室外安全的地方。

(6) 仅当容器内压力和大气压完全平衡时或者容器处于负压状态时才可打开真空表。抽真空结束后，容器压力调节到-0.06MPa（表压）后立即关闭真空表。在按下点火按钮前，应确认真空表已经关闭。

(7) 进行实验时，控制箱应保持关闭。打开控制箱前应断开控制箱的电源。

(8) 实验操作人员应熟悉高压气瓶的操作，并知道操作过程可能存在的危险。在打开气瓶总阀时应逆时针缓慢旋转阀门，确认无漏气后再完全开启。在关闭总阀时应使用专用的把手，不应用力过猛。

3 实验前的准备

3.1 电路检查

在上次实验后如果测试设备没有移动或改动，可不进行电路检查。电路检查包含以下内容：

(1) 检查控制箱的电源线、控制箱和爆炸容器之间的控制电缆连接完好。20L 设备底座上的接线盒与电接点压力表、真空表位置开关、进气电磁阀和喷粉电磁阀的连接完好。

(2) 传感器与传感器电缆连接完好，控制箱数据采集电缆与计算机上的数据采集卡连接完好。

(3) 控制箱上的以太网线连入了本地以太网（根据用户的网络配置，可能为集线器或者交换机）。

(4) 如果采用静电点火，将高压点火电缆准备好。

(5) 打开控制箱电源，电源指示灯亮、触控屏启动并显示设备开关的状态。

3.2 气路检查与准备

在上次实验后如果测试设备没有移动或改动，可不进行气路检查。

(1) 检查高压气瓶、减压阀的连接，确保连接紧固。

(2) 检查实验用气气路（减压阀、高压软管、电磁阀、高压软管、储气罐）的连接，确保连接紧固。

(3) 检查气动控制用气气路（减压阀、高压软管、喷粉阀进气口）的连接，确保连接紧固。

(4) 打开实验用气和气动控制用气的总阀，方法如下：逆时针缓慢旋转空气瓶总阀，

观察减压阀总压表，同时仔细听是否有漏气的声音。如果没有漏气声，则将阀门完全打开，直到总压表的指针不再移动。如果有漏气，则将阀门调节到接近关闭的位置，检查漏气情况并解决漏气问题。可以用肥皂水检查漏气的具体位置。

(5) 检查/调节减压阀的出口压力到 2MPa（表压）。减压阀的出口压力调节好后，一般不用经常调节。如减压阀出口压力不为 2MPa（表压），通过调压旋钮调节减压阀的压力，顺时针为提高，逆时针为降低。注意，调节压力时气瓶的总阀必须完全开启。压力应由低到高调节，因为一旦调高后，管路内的气压不会自行下降。当出现压力超调时，可能需要松开减压阀和高压软管之间的螺扣 1~2 圈释放出高压软管中的气体。

3.3 计算机软件

启动测试计算机和压力测试软件。对于仅购买 20L 测试系统的用户，软件会直接进入 20L 系统的测试界面。对于购买了多参数测定系统的用户，进入软件总界面后通过菜单和工具栏进入 20L 测试系统软件。

软件的默认界面显示设备开关的运行状态。通过调节“化学点火/静电点火”开关，如果触控屏相应的开关也联动，说明计算机和控制箱的通讯就绪。当采用“内触发”时，计算机和控制箱间的通讯必须就绪，因为软触发是通过以太网通讯进行的。

3.4 数据采集设置

3.4.1 默认设置参数

在 20L 爆炸测试主界面上点击“设置”-“数据采集”进入到数据采集设置界面(图 3)。数据采集设置设备出厂前已经设置好，一般不用改变。

以下设置为默认设置：

采集设备：PCI 1711。不可改变。

采集频率：5000。一般不用改变。

采集时长：1.6384。一般不用改变，根据数据采集的曲线可以适当延长。

采样通道：0。数据采集卡硬件（图 4）已经将数据采集通道介入通道 0。仅当硬件接线发生改变时改变。

通道数目 1。当接入 1 只传感器时只能选 1。如果接入 2 只传感器则选 2。

电压量程-10V~10V，触发方式为“内触发”。对于支持静电点火的测试设备，只能使用内触发。

输出反向指压电比前面的负号，一般不选。仅当使用电荷型传感器时则选中。

自动校零指压力时间曲线的起点为 0，一般不选。仅当数据采集卡出现电压漂移时选中。

实验之前压力电压比为传感器证书上换算的数值，进行标定实验后将正确的压力电压比重新设置。本测试系统的默认设置为 0.2758。压力截距为 0。



图 3 上位机数据采集设置界面

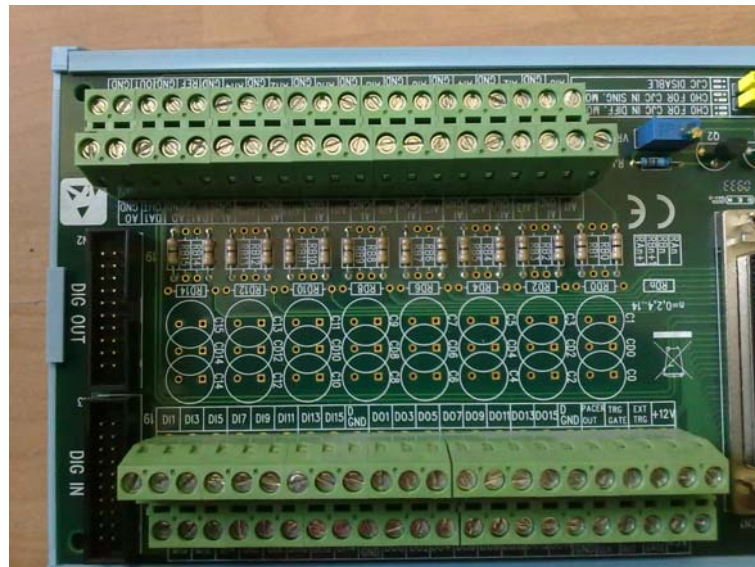


图 4 数据采集端子板

3.4.2 传感器标定

压电传感器将容器内压力信号转变为电压信号后经由数据采集卡存储到电脑中。传感器的一个重要的参数就是压力电压比。压力电压比可以由传感器出厂检测报告计算得到。例如，传感器输出 5V 时对应的压力为 1.379MPa，则压力电压比为： 0.2758 MPa/V 。

由于环境变化以及对传感器采取的一些保护性措施，会导致其压电比略微改变。只有在第一次实验之前或者长时间不使用设备而导致实验结果发生偏差的时候才需要对传感器进行标定。

3.4.3 空白试验

(1) 实验之前需要新建一个测试卡片，在 20L 爆炸测试主界面上点击“操作”-“数据库管理”进入到数据库管理界面(图 5)，添加一个新的测试卡片。

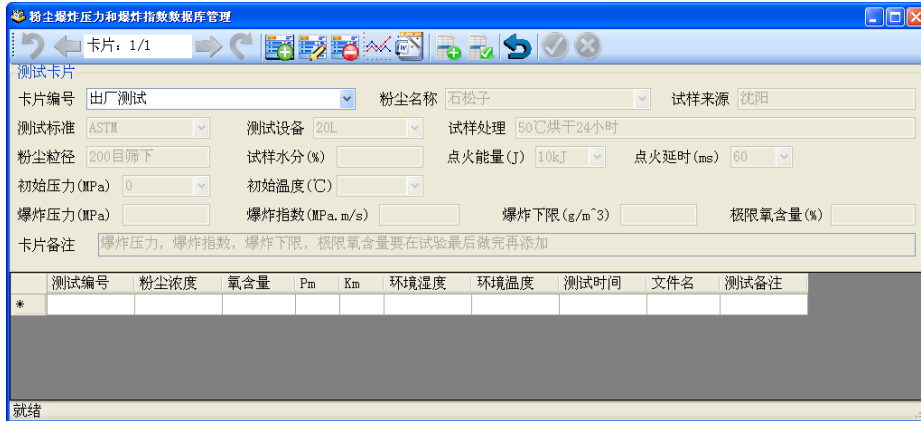


图 5 上位机数据库管理界面

(2) 在 20L 爆炸测试主界面上点击“文件”-“新测试”进入到新测试界面(图 6)，点击“开始测试”按钮后进入到高速数据采集界面(图 7)等待触发信号。

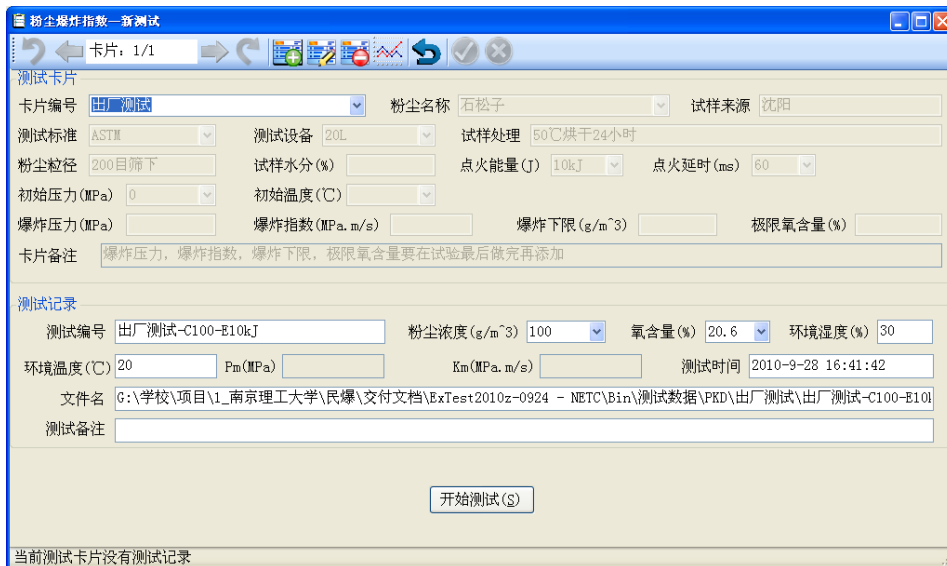


图 6 上位机新测试界面

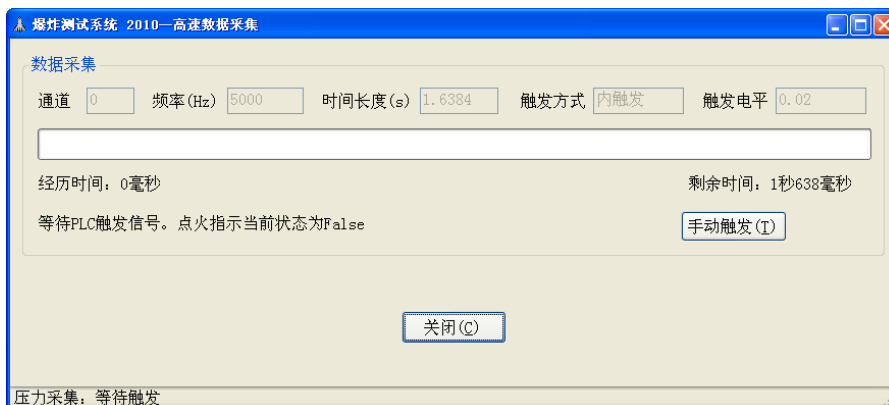


图 7 上位机高速数据采集界面-等待采集信号

(3) 在触摸屏主界面上将点火方式选择为“化学”，20L 喷粉时间设置为 50ms，20L 点火延时设置为 60ms (图 8)。

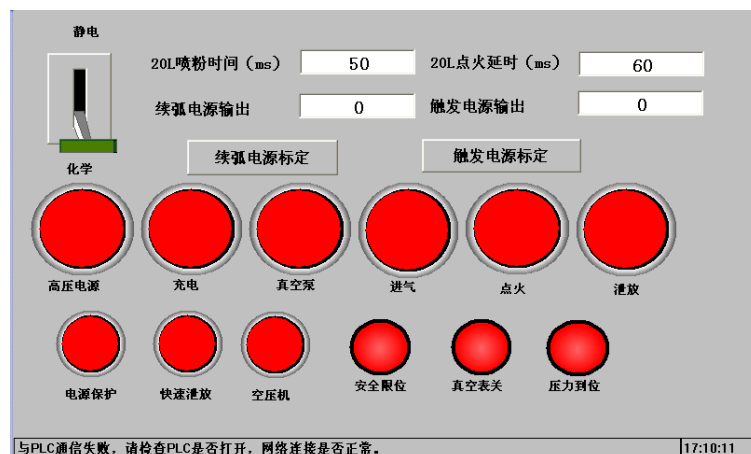


图 8 触摸屏主界面

4. 抽真空。准备好真空阀，按下“真空泵”按钮开始抽真空，当真空表达到-0.6MPa时再次按下真空泵按钮关闭真空泵并且关闭真空阀，此时真空表关指示灯应该亮起。

5. 进气。按下“进气”按钮等待压力到位。压力到位后进气按钮会自动复位。

6. 点火试验。按下“点火”按钮进行试验。试验结束后上位机会自动将压力时间曲线绘制好并保存起来。

7. 观察未修正的压力时间曲线(图 9)，试验未装点火头和式样粉尘，所以曲线上的最大压力应该略微高于 0 (0.01MPa~0.02MPa)，但是由于最初的传感器压电比设置不合适，导致其最大压力有所偏差。点击压力时间曲线界面“操作”-“修正爆炸压力”弹出修正界面(图 10)。R 即为压电比的修正系数，调整 R 值直至曲线上最大压力略高于 0(图 11)。将每次输入的修正系数相乘后再乘以试验之前设置的压电比即为修正后的压电比。

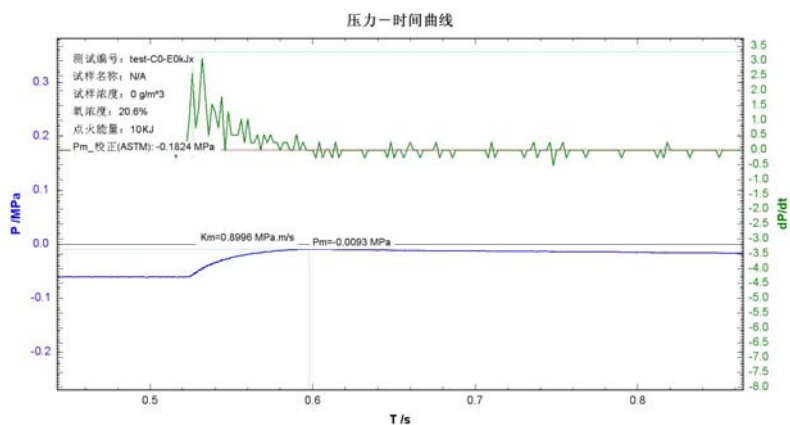


图 9 上位机压力时间曲线-未修正



图 10 上位机压力时间曲线修正界面

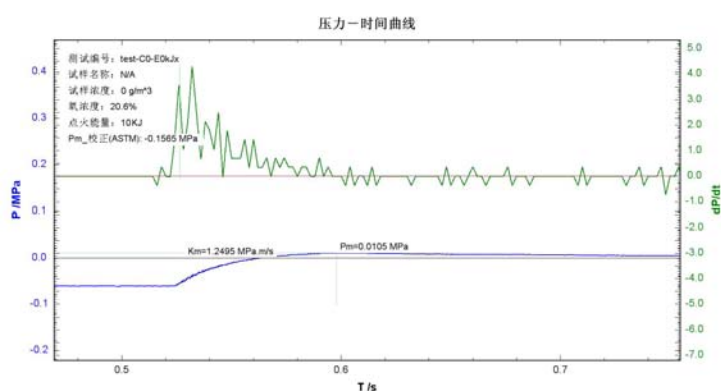


图 11 上位机压力时间曲线-已修正

3.5 电源标定

电源通常不用标定。仅当触控屏的电压显示值和高压电源的电压显示值有较大差异时需要标定电源。触发电源的电压能够触发放电既可，它的电压对点燃能量的影响可忽略不计。

续弧电源为 1kV 电源，触发电源为 10kV 电源，两种电源标定方法相同。以触发电源为例介绍电源标定方法。在触摸屏主界面上选择点火方式为静电，点击触发电源标定按钮进入图 12 所示的界面。



图 12 触摸屏触发电源标定界面

点击高压电源按钮打开高压电源，在“预期输出电压”一栏中输入需要标定的电压值，输入的电压值需要和上面列表中的预期电压一致，将实际测得的电压值输入到“实际输出电压”一栏中，然后点击“填写”按钮。

4 实验方法与步骤

4.1 选择点火方式

点火方式有两种，化学点火和静电点火。静电点火没有相关标准。静电点火适合于进行演示实验，也可用于测定爆炸下限。静电点火不能用于测定最大爆炸压力和爆炸指数。

如果选择静电点火，实验前应注意：

(1) 试验之前必须检查控制箱接地，要求接地电阻小于 2Ω ，否则可能烧坏设备。
 (2) 将容器盖上的化学点火电缆换成高压电缆，不需要安装化学点火头，确保电极尖端没有杂物影响电极放电。可以使用锉刀或砂纸去除电极尖端的杂物，同时注意电极与电极支架之间接触良好，没有杂物(图 13)。

(3) 接通电源后在触控屏上选择点火方式为“静电”，设置续弧电源电压和触发电源电压，通常触发电源电压设置为 $8000V$ ，续弧电源电压根据需要的能量选择，计算公式见式(1)

$$V = \sqrt{\frac{2E}{C}} \quad (1)$$

式中， E -放电能量，J； C -电容， 2.2×10^{-2} F； V -电压，V。



图 13 静电点火电极安装方法

根据式(1)可计算不同能量对应的电压，列于表 3。

表 3 放电能量对应的充电电压

放电能量/J	充电电压/V
2000	426
2500	477
5000	674
8000	853
10000	953

4.2 单次爆炸实验步骤

4.2.1 化学点火模式下的单次试验

第一次实验前，通过触控屏设置点火方式为化学点火。

(1) 在爆炸测试系统界面进入数据库维护界面，新建测试卡片，在测试卡片信息中输入测试信息。

(2) 称取一定质量的样品，放入储粉罐。盖好储粉罐的盖，旋紧。

(3) 安装化学点火头。如果测试爆炸压力和爆炸指数，安装 2 个 5kJ 的点火头。如果测试爆炸下限或极限氧浓度，安装 2 个 1.25kJ 的点火头（ASTM 标准）。按中国国标为两个 5kJ，欧盟标准为 2 个 1kJ。在电极插座孔用万用表测量电阻，电阻应小于 4Ω 。

(4) 合上测试容器盖，旋紧，安全到位指示灯亮表明容器盖已经盖好。将化学点火电缆插入容器盖上的电极座。

(5) 在测试软件界面点击“文件”-“新测试”，在弹出的窗体中输入测试条件信息。

(6) 关闭排气阀、清洗阀，打开抽真空阀，启动真空泵。缓缓打开真空表阀，如果真空表指针向真空方向（ -0.1MPa 刻度）移动，完全打开真空表阀。当真空度达到

-0.065MPa 时关闭真空泵阀和真空泵。等待 3s 左右，通过抽真空阀和进气阀调节真空表指针到-0.06MPa。关闭真空表阀。

(7) 按下“进气”按钮，当压力到位灯亮，按下“点火”按钮。

(8) 软件显示本次爆炸的压力时间曲线。将数据记录到测试表格，同时将本次测试结果添加到数据库。

(9) 清洗。见 4.2.3。

4.2.2 静电点火实验步骤

第一次实验前，通过触控屏设置点火方式为静电点火。

(1) 在爆炸测试系统界面进入数据库维护界面，新建测试卡片，在测试卡片信息中输入测试信息。

(2) 称取一定质量的样品，放入储粉罐，盖好储粉罐的盖，旋紧。

(3) 合上测试容器盖，旋紧，安全到位指示灯亮表明容器盖已经盖好。将高压电缆一端接入控制箱的高压输出和高压地，一端插入容器盖上的电极座。

(4) 打开高压电源，等电压稳定后进行充电。当电容电压和电源电压相等时或者电容电压不再变化时充电结束。

(5) 在测试软件界面点击“文件”-“新测试”，在弹出的窗体中输入测试条件信息。

(6) 关闭排气阀、清洗阀，打开抽真空阀，启动真空泵。缓缓打开真空表阀，如果真空表指针向真空方向（-0.1MPa 刻度）移动，完全打开真空表阀。当真空度达到-0.065MPa 时关闭真空泵阀和真空泵。等待 3s 左右，通过抽真空阀和进气阀调节真空表指针到-0.06MPa。关闭真空表阀。

(7) 按下“进气”按钮，当压力到位灯亮。按下“电源保护”按钮进行静电点火（电源保护时间为 5 秒钟）。

(8) 点火结束后按下“泄放”按钮将电容内残余的能量泄放。当电容电压低于 200V 时可以使用“快速泄放”按钮进行快速泄放。如果电容电压高于 200V 直接按“快速泄放”将烧毁用于快速泄放的真空继电器。

(9) 软件显示本次爆炸的压力时间曲线。将数据记录到测试表格，同时将本次测试结果添加到数据库。

(10) 清洗。见 4.2.3。

4.2.3 清洗

(1) 打开排气阀释放出容器内的废气。打开清洗进气阀，启动空压机对容器内的燃烧产物废气进行清洗。

(2) 把持住电极的绝缘部分拔下点火电极（不要把持点火电缆）。打开容器盖，仔细清洗容器内部。注意传感器安装位置前应无杂物。传感器头部有隔热硅胶，清洗时不要破坏隔热硅胶。观察抽真空口、清洗进气口是否畅通，必要时进行清洗。

(3) 当燃烧产物为粘稠状时，用吸尘器清洗比较困难。此时，应卸下容器底部的两相阀，用橡胶塞塞住底部开口，用 50℃ 的温水加入洗涤剂对容器进行彻底清洗。

4.3 爆炸压力、爆炸指数的测定

(1) 按 250 g/m^3 、 500 g/m^3 、 750 g/m^3 、 1000 g/m^3 、 1250 g/m^3 的顺序进行实验，得到该浓度的爆炸压力-时间曲线。软件会自动计算不同粉尘浓度下的爆炸压力 p_m 和规格化爆炸压力上升速率 K_m 。典型的爆炸-时间曲线如图 14。

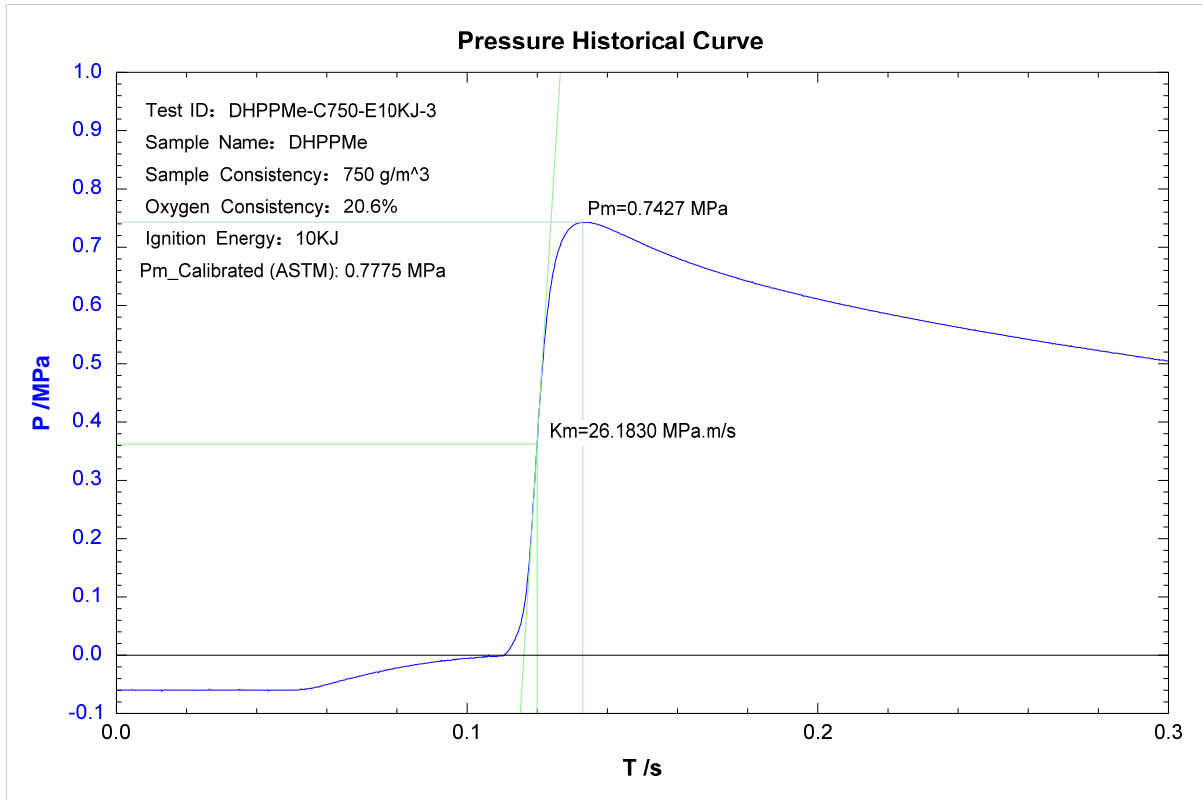


图 14 典型的爆炸压力-时间曲线

(2) 作图得到 p_m 和 K_m 随粉尘浓度变化的曲线，如图 15。

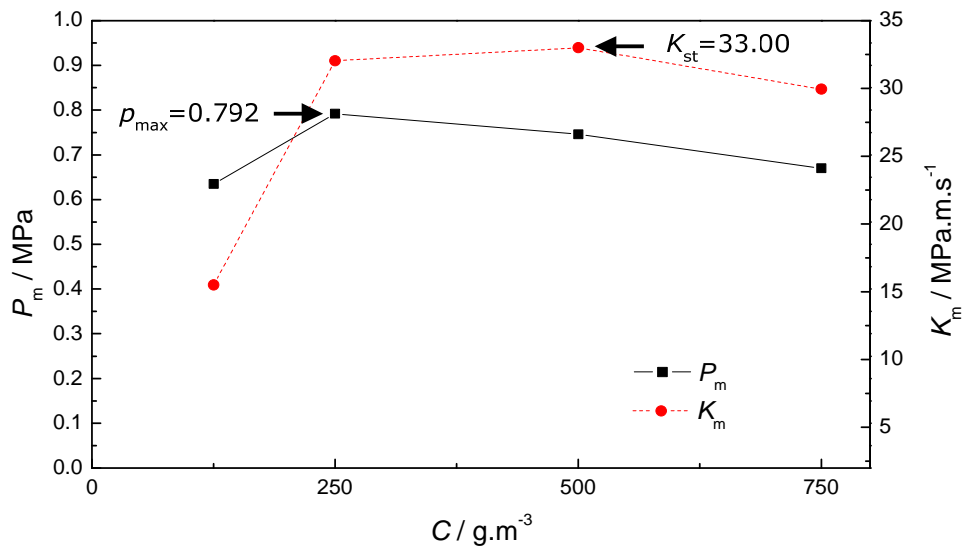


图 15 爆炸压力 p_m 和规格化爆炸压力上升速率 K_m 随粉尘浓度 C 的变化

当 p_m-t 和 K_m-t 曲线都出现最大值时可完成 1 轮测试。保准测试一般需要进行 3 轮实验，然后取平均值作图得到最大爆炸压力 p_{max} 和爆炸指数 K_{st} 。

4.4 爆炸下限的测定

爆炸下限的测定和爆炸压力/爆炸指数的测定类似，也是通过改变粉尘浓度进行爆炸实验。测试步骤参见 1.1.2 节。通常从 100 g/m^3 开始试验，如果发生爆炸将粉尘浓度减半进行实验，如果不发生爆炸则以 50 g/m^3 的步长增加粉尘浓度。

如果最终判定某一粉尘浓度不发生爆炸，应在该粉尘浓度下重复 3 次实验。

4.5 极限氧浓度的测定

极限氧浓度需要在不同的氧浓度下进行一系列粉尘浓度的爆炸实验。

先从某一估计的氧浓度开始，在该氧浓度下先以“最危险粉尘浓度”进行实验。所谓“最危险粉尘浓度”是在正常大气氧浓度进行实验时爆炸压力最大的粉尘浓度。

如果在任意粉尘浓度下爆炸可以发生，则该氧浓度下不用再进行爆炸试验。降低氧浓度继续试验。如果在某一氧浓度下以最危险粉尘浓度进行爆炸实验爆炸没有发生，则增加氧浓度进行实验。

最后确定不发生爆炸的氧浓度时应进行不同粉尘浓度的实验。

5 仪器的标定

仪器的标定可通过以下方式进行：关键部件计量仪表的计量检定、标准样品的实际测定标定或与同类实验设备测试结果比对。

本仪器的关键计量仪表为：真空表、电接点压力表、压力传感器（及其恒流源）、数据采集卡。

常用的标准粉为石松子（中位径 $\sim 28 \mu\text{m}$ ）、玉米淀粉（中位径 $15 \mu\text{m}$ ）。爆炸性数据如表 4。爆炸压力的允许偏差为 $\pm 10\%$ ，爆炸指数的允许偏差为 $\pm 20\%$ 。

表 4 石松子和玉米淀粉的爆炸性参数

参数	石松子	玉米淀粉
p_{max}/MPa	0.80	0.85
$K_{st}/\text{MP}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	24	17
$\text{LEL}/\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	$20 < \text{LEL} < 50$	$30 < \text{LEL} < 60$

6 常见故障的检查与维修

(1) 打开总开关、面板开关后，面板和触控屏不亮。

检查电源线是否接好。

(2) 触控屏控制失灵

检查通讯以太网线是否连接好。

(2) 储粉罐不进气

检查控制箱到爆炸容器底座的信号电缆是否连接完好。

(3) 气粉两相阀不喷粉

检查控制箱到爆炸容器底座的信号电缆是否连接完好。

检查用于气动控制的气源压力是否为 2MPa。

(4) 充电后电极间不放电

检查高压电缆与控制箱和与爆炸容器是否连接紧固。注意：必须彻底泄放电容上的电压，拔下高压电缆控制机箱一侧的插头后操作。

(5) 化学点火具不点火

检查控制箱到爆炸容器底座的信号电缆是否连接完好。

(6) 其它故障

请将故障详细情况通知我们，我们根据情况作出诊断并提供维修服务。

7 联系方式

联系人：钟圣俊

通讯地址：110004 东北大学工业爆炸及防护研究所 339 信箱

电话：024 83687757 13072498962

传真：024 23906316

电子邮件：zhongsj@smm.neu.edu.cn

网站：<http://iepi.neu.edu.cn>