

# BDM 用户手册

## 一、 产品介绍：

BDM|PET 探测器模块（以下简称 BDM）是苏州瑞派宁科技有限公司自主设计、开发、生产的一款高性能、全数字化的 PET 探测器，主要用于 Gamma 光子的探测、闪烁脉冲的数字化、数字信号处理及数据网络传输。

BDM 是第一款与磁场兼容的全数字化 PET 探测器。它采用了性能卓越的 LYSO/SiPM 作为前端探测器，在高效探测 Gamma 光子的同时，由于 LYSO 的卓越性能和高精度封装，使得 BDM 有着优越的时间性能，时间分辨率在 550ps 以下；SiPM 与磁场兼容，其小型化设计也使得 BDM 的集成通道数大大提高。

同时，BDM 是一款拥有双探头设计的 PET 探测器模块，仅用一台即可组成一套符合测试系统。

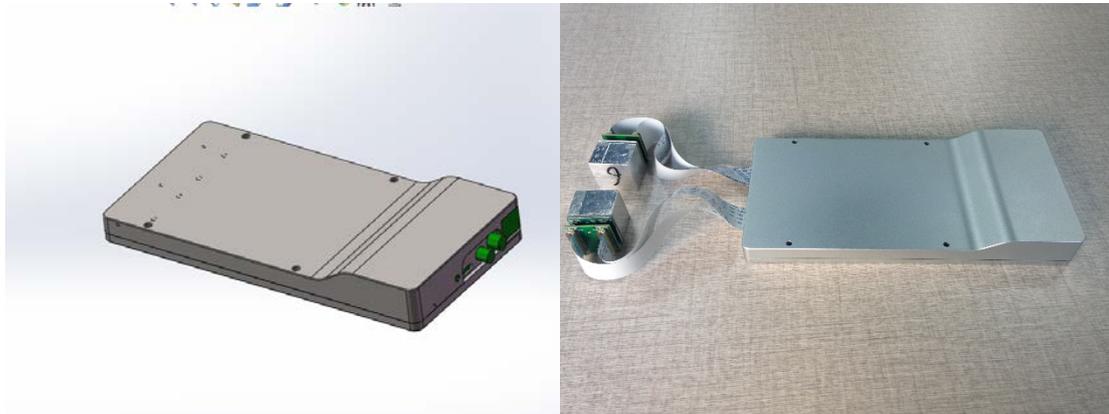


图 1. BDM|PET 探测器模块以及单套模块组成符合探测系统

## 二、 规格说明：

前端探头	
探头架构	LYSO 阵列晶体+SiPMs
单像素尺寸	4x4x20mm <sup>3</sup> （20mm 为厚度）
辐射探测种类	511KeV 的 Gamma 射线
能量分辨率	15%@511KeV
时间分辨率	550ps@【450~650】KeV
探测器模块	
探头数量	2
壳体尺寸	
重量	
通道数目	72
电源	220V 市电
功耗	10.5W
数据传输	千兆网络传输
工作条件：	
环境温度	室温
相对湿度	30%~80%
大气压力	700hpa~1060hpa

### 三、 配件：

- 时钟板一张
- 千兆网线一根
- 时钟线一根
- 电源线及适配器一套
- 配置线一根（根据需要可选择 Micro-USB 转串口线或者 Micro-USB 转 USB 线）
- 阈值配置软件（Si-BDM-CONFIGURE 客户端）光盘一张

### 四、 使用说明：

#### 1. 数据采集：

首先保证前端探头连接正常，沿图 2（左上）中箭头所示方向按压，保证探头连接器紧密咬合。同时，参照图 2（右上）的方式，将 FFC 线接入 FFC 连接器，注意 FFC 线的插入方向需与图中保持一致，将两个探头以图 2（下）的方式与探测器主体模块连接。

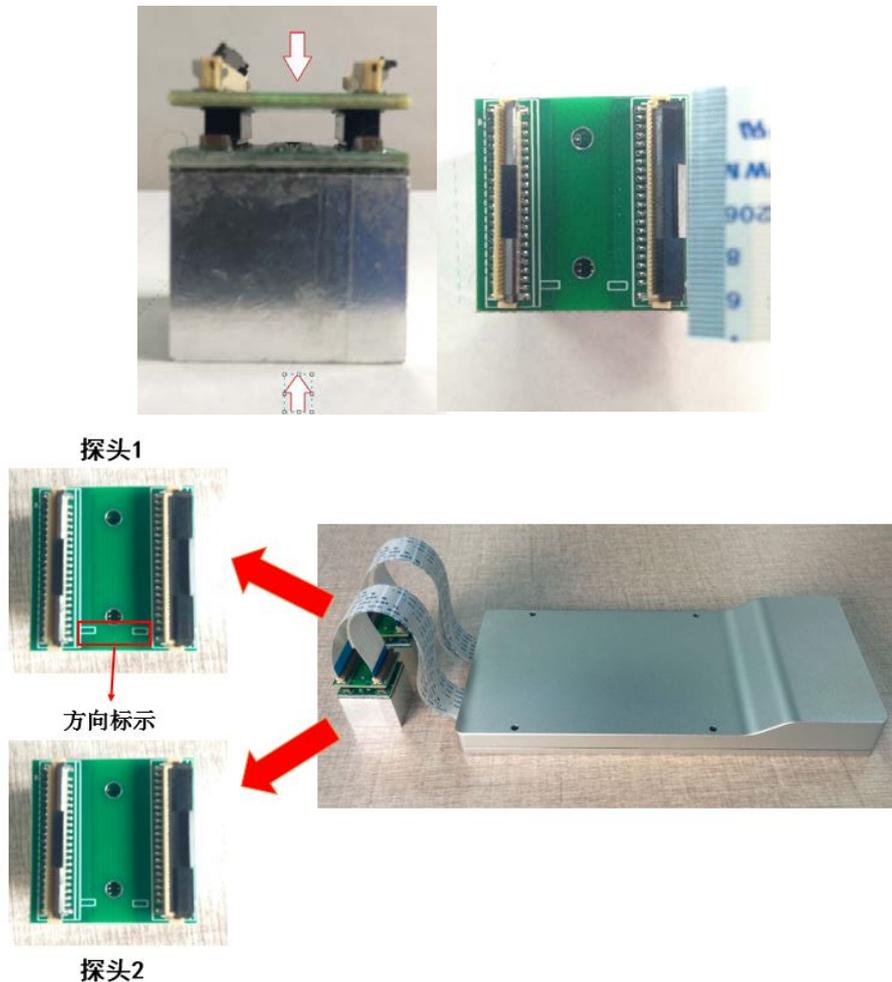


图 2. 左上：前端探头的连接器咬合；右上：前端探头的 FFC 线连接；下：双探头与模块的整体连接

如图 3 所示，BDM|PET 探测器模块有四个接口：Micro-USB、时钟接口、电源接口、网线接口。在采集数据前，首先根据以上内容将探头与主体模块连接，然后使用时钟线连接探测器和时钟模块，使用网线连接探测器和上位 PC，使用配置线连接探测器和上位 PC，最后通过

将 12V 适配器和 5V 适配器接入 220V 市电分别给探测器和时钟模块供电（两者不能混淆）。在硬件连接正常及供电情况下，在上位机捕获传输的 UDP 数据包进行数据采集。  
**在正式采集存储数据前，建议使用时钟模块上的复位键对探测器进行复位。**方法是在保证正常硬件连接及供电情况下，按一下复位按键（按后复位按键处于下压状态），隔 1~2 秒后，再按一下复位按键（此后复位按键处于弹起状态）。注意，当时钟模块的复位按键处于下压状态时，探测器将不会发送数据至上位 PC。



图 3. BDM 的接口说明以及数据采集前的硬件连接

## 2. 数据格式：

BDM|PET 探测器模块是一款基于多电压阈值采样方法（Multi-Voltage Threshold, 简称 MVT）的全数字化 PET 探测器。和常规的等时间间隔采样方式不同，MVT 方法是对闪烁脉冲越过预先设定阈值的时间值进行采样，然后综合采样时间、阈值电压、以及对闪烁脉冲形状的先验模型，对脉冲进行还原，从而提取信号的有效信息。本款产品 BDM|PET 探测器模块使用的是四个阈值的 MVT 采样方式，因此传输出的数据是记录每一个脉冲八个时间点（脉冲上升沿四个，下降沿四个）的信息。

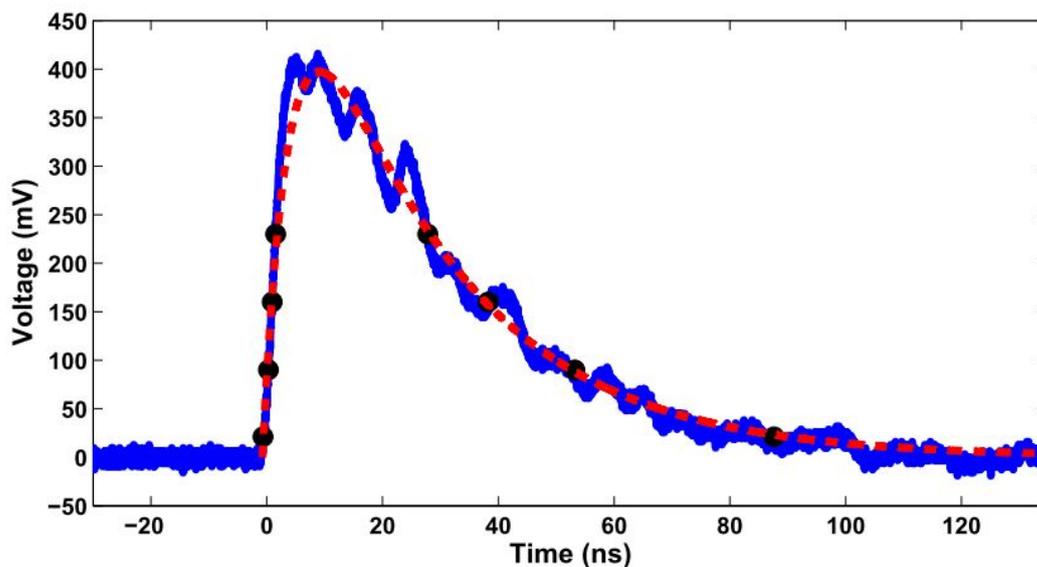


图 4. MVT 采样对闪烁脉冲的还原，图中蓝线为原始脉冲信号，黑点是 MVT 采样点，红色虚线是重建的脉冲  
BDM|PET 探测器模块通过千兆网线将数据传输至上位机，传输的数据以 UDP（User

Datagram Protocol) 数据包为基本单元。每一个 UDP 数据包包含 1204 个字节，每一字节为十六进制的两位数，数据包整体结构见图 5。其中，数据包开头有 42 个字节属于包头部分（图中红线框区域），结尾有 10 个字节属于包尾部分（图中黑线框区域），中间部分则为脉冲信息的存储部分。

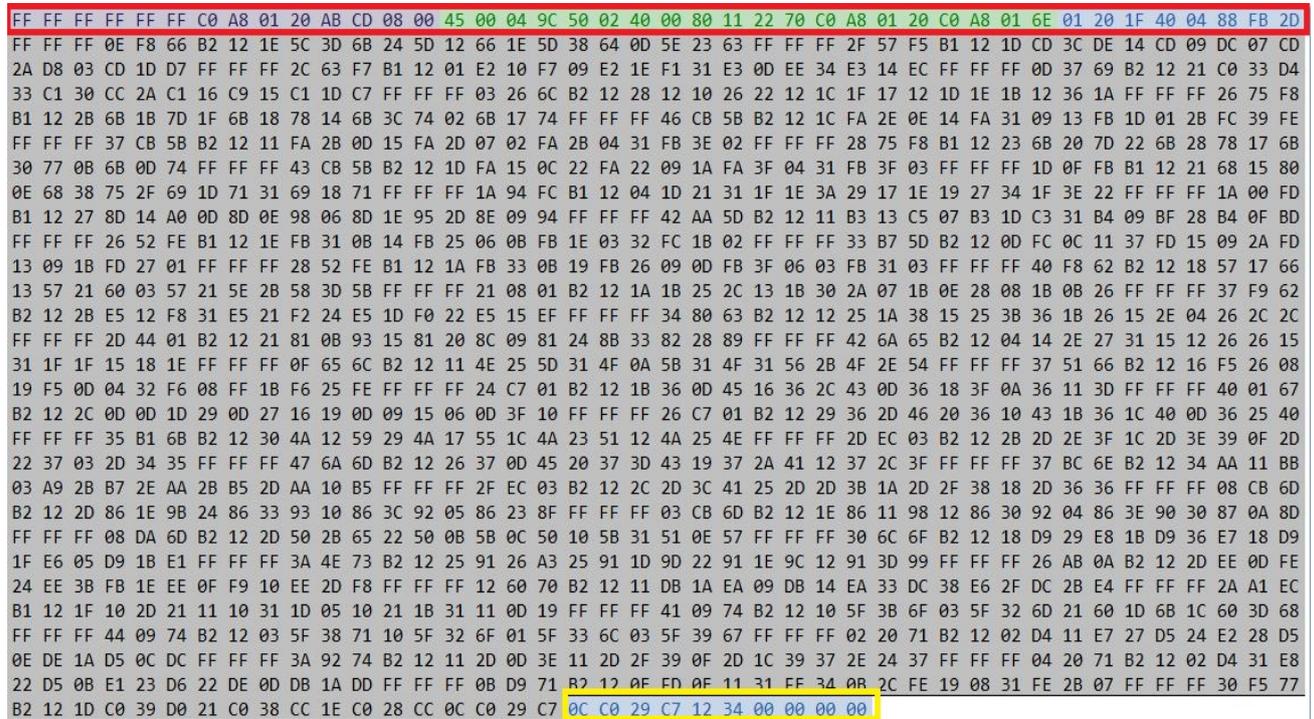


图 5. 单个 UDP 数据包的格式

- 数据包包头部分：
 

总共 42 个字节，其中，前面 6 个字节属于标示位，表示数据包的开始。第 26 到 34 字节为 IP 地址有效位，图 2 的数据包里第 26 到 34 字节分别为：C0-A8-01-20-C0-A8-01-6E，把它转化为十进制即为：192-168-1-32-192-168-1-110，表示数据包的发送源 IP 是 192-168-1-32，数据包的目的 IP 为 192-168-1-110。
- 数据包包尾部分：
 

总共 10 个字节，其中后面 6 个字节（12 34 00 00 00 00）属于固定标示，用以判断该数据包的结束。
- 数据包信息存储部分：
 

总共 1152 个字节，包含 48 个事件的信息，每个事件包含 24 个字节，记录了包括该事件的发生通道号、该事件 8 个 MVT 采样的时间值信息。一个事件数据的具体格式如下图所示：



图 3. 单一事件数据说明

其中，事件开始标示位用以自检确定事件的开始，通道号标示位用以显示该事件发生的

通道位置，其他的数据位均用以计算 MVT 采样点的时间。具体公式如下，这里， $\boxed{4}$  代表第四个字节数的十进制值，CH\_NUM 是事件通道号，T1~T8 分别是 MVT 采样第一点到第八点的时间值，单位纳秒：

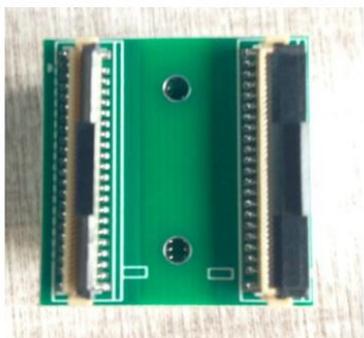
- $CH\_NUM = \boxed{4} + 1;$
- $T1 = (\boxed{8} \times 256^4 + \boxed{7} \times 256^3 + \boxed{6} \times 256^2 + \boxed{5} \times 256 + \boxed{10}) \times 5 - \boxed{9} \times 5 / \text{maxbin};$
- $T2 = (\boxed{8} \times 256^4 + \boxed{7} \times 256^3 + \boxed{6} \times 256^2 + \boxed{5} \times 256 + \boxed{14}) \times 5 - \boxed{13} \times 5 / \text{maxbin}$ , 如果  $\boxed{14} - \boxed{10} < -20$  或者  $\boxed{14} - \boxed{10} > 20$ , 则还需要加上  $256 \times 5;$
- $T3 = (\boxed{8} \times 256^4 + \boxed{7} \times 256^3 + \boxed{6} \times 256^2 + \boxed{5} \times 256 + \boxed{18}) \times 5 - \boxed{17} \times 5 / \text{maxbin}$ , 如果  $\boxed{18} - \boxed{10} < -20$  或者  $\boxed{18} - \boxed{10} > 20$ , 则还需要加上  $256 \times 5;$
- $T4 = (\boxed{8} \times 256^4 + \boxed{7} \times 256^3 + \boxed{6} \times 256^2 + \boxed{5} \times 256 + \boxed{22}) \times 5 - \boxed{21} \times 5 / \text{maxbin}$ , 如果  $\boxed{14} - \boxed{10} < -20$  或者  $\boxed{18} - \boxed{10} > 20$ , 则还需要加上  $256 \times 5;$
- $T5 = (\boxed{8} \times 256^4 + \boxed{7} \times 256^3 + \boxed{6} \times 256^2 + \boxed{5} \times 256 + \boxed{24}) \times 5 - (64 - \boxed{23}) \times 5 / \text{maxbin}$ , 如果  $\boxed{24} < \boxed{22}$ , 则还需要加上  $256 \times 5;$
- $T6 = (\boxed{8} \times 256^4 + \boxed{7} \times 256^3 + \boxed{6} \times 256^2 + \boxed{5} \times 256 + \boxed{20}) \times 5 - (64 - \boxed{19}) \times 5 / \text{maxbin}$ , 如果  $\boxed{20} < \boxed{18}$ , 则还需要加上  $256 \times 5;$
- $T7 = (\boxed{8} \times 256^4 + \boxed{7} \times 256^3 + \boxed{6} \times 256^2 + \boxed{5} \times 256 + \boxed{16}) \times 5 - (64 - \boxed{15}) \times 5 / \text{maxbin}$ , 如果  $\boxed{16} < \boxed{14}$ , 则还需要加上  $256 \times 5;$
- $T8 = (\boxed{8} \times 256^4 + \boxed{7} \times 256^3 + \boxed{6} \times 256^2 + \boxed{5} \times 256 + \boxed{12}) \times 5 - (64 - \boxed{11}) \times 5 / \text{maxbin}$ , 如果  $\boxed{12} < \boxed{10}$ , 则还需要加上  $256 \times 5;$

关于 maxbin 的值，每套 BDM 都会有一组三个 maxbin 值。通道 1 到通道 24 的数据对应第一个 maxbin 值，通道 25 到通道 48 对应于第二个 maxbin 值，通道 49 到通道 72 则对应第三个 maxbin。产品的 maxbin 值会随用户说明配套发出。

### 3. 通道对应关系：

按照图 2（下）的连接方式与视角方向，探头 1 与探头 2 的通道对应情况如下图所示，例如，上面计算出的 CH\_NUM 如果等于 10，则该事件的发生位置（对应下图的方向）是探头 1 的第二排第三列：

TOP VIEW



探头1

探头2

1	13	8	19	31	26	37	49	44	55	67	62
3	15	10	21	33	28	39	51	46	57	69	64
5	17	12	23	35	30	41	53	48	59	71	66
7	2	14	25	20	32	43	38	50	61	56	68
9	4	16	27	22	34	45	40	52	63	58	70
11	6	18	29	24	36	47	42	54	65	60	72

图 8. 通道对应关系

需要注意，如果前端探头与 BDM 模块的 FFC 线连接顺序若与图 2（下）的不同，则通道与位置的对应情况也将发生变化！

#### 4. Si-BDM-CONFIGURE 客户端：

Si-BDM-CONFIGURE 客户端是用以给探测器配置 IP，编号以及阈值的上位 PC 软件，该软件适用于 windows 7，windows 8 系统，32 位与 64 位都行，尚不支持 windows XP 及之前的版本。在使用该软件对探测器进行配置时，请保持硬件正常连接（探测器的电源，时钟，Micro-USB 口均需连接，Micro-USB 转 UART 线的另一端接入操作的 PC 端），**并务必保持上位 PC 的防火墙处于关闭状态。**

根据用户使用需要，有两种配置线可以选择，一种是默认的 Micro-USB 转 UART 线，另一种则是特制的 Micro-USB 转 USB 线。在使用第二种线进行阈值配置时，需要安装线缆驱动，该驱动会随客户端软件一起发出。

软件界面及键位说明

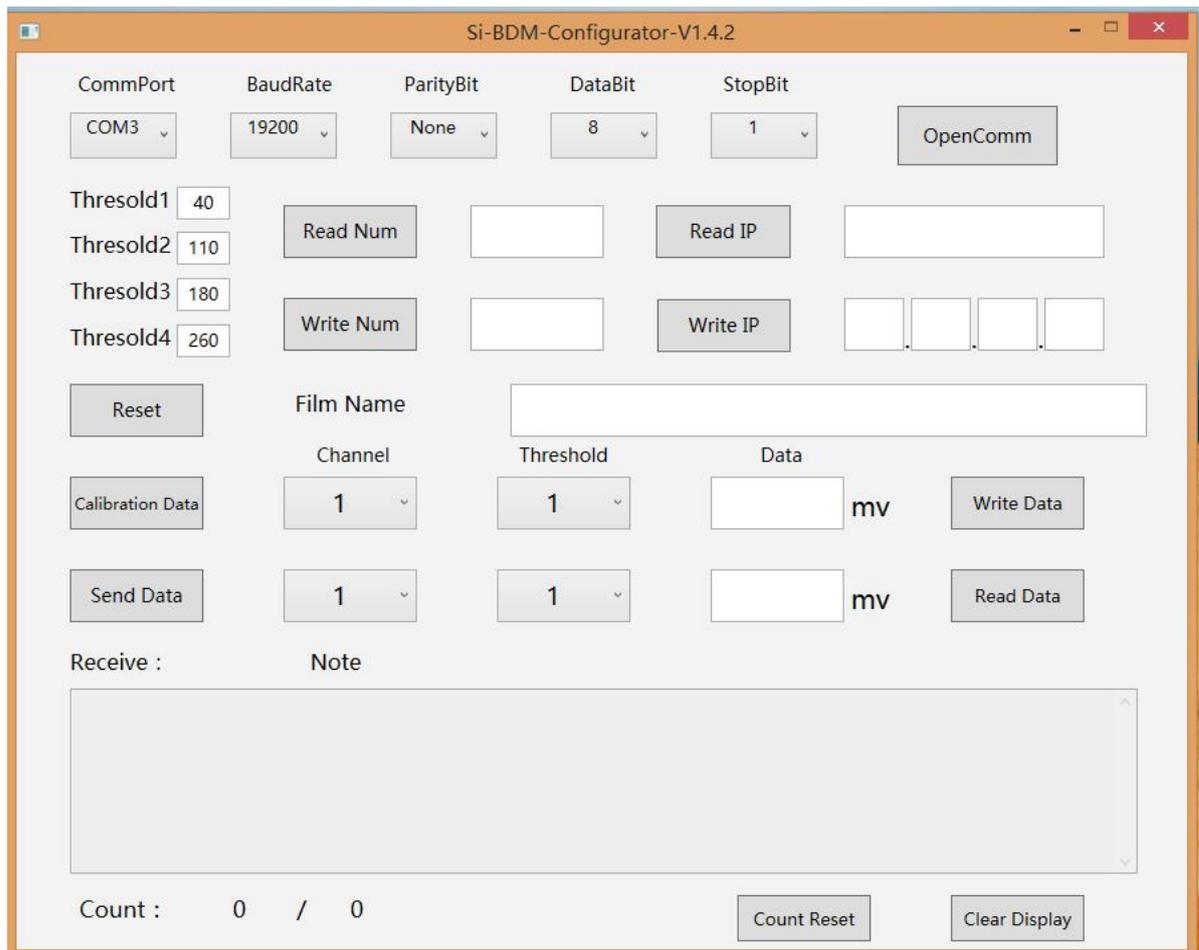


图 9. 4. Si-BDM-CONFIGURE 客户端的界面

上述界面主要包括一下按钮区及数据显示区：

1. 串口参数设置区

串口参数设置区主要包括串口选择下拉框 CommPort，波特率选择下拉框 BauRate,校验位下拉框 ParityBit，数据位 DataBit，停止位 StopBit 等。

2. 串口打开关闭

主要有串口打开按钮 OpenComm 和串口关闭按钮 CloseComm。

3. 复位

主要为复位按钮 Reset。

4. 电路板编号读写及显示

主要有电路板编号读取按钮 ReadNum 及其右侧的电路板编号显示框；电路板编号配置按钮 WriteNum 及其右侧的电路板编号输入框。

5. 电路板 IP 读写及显示

主要有电路板 IP 读取按钮 Read IP 及其右侧的电路板 IP 显示框；电路板 IP 配置按钮 Write IP 及其右侧的电路板 IP 输入框；

6. 阈值文件读取及配置

主要有阈值文件读取按钮 Calibration Data 及阈值文件配置按钮 Send Data。

7. 通道阈值读写及显示

写通道阈值主要有通道号选择下拉框(Calibration 按钮正右侧)、阈值号选择下拉框 Threshold (Calibration 按钮正右侧)、阈值输入框 Data (Calibration 按钮正右侧) 及写通道阈值按钮 Write Data 组成；

读通道阈值主要有通道号选择下拉框 (Send Data 按键正右侧)、阈值号选择下拉框 Threshold (Send Data 按键正右侧)、阈值显示框 Data (Send Data 按键正右侧) 及读通道阈值按键 Read Data 组成;

#### 8. 接受指令显示区、指令接受计数、计数复位及显示清除按键

主要有接受指令显示区 Received Data、指令接受计数区 Count Of Received Data、接受指令计数复位按键 Count Reset 及接受指令清除按键 Clear Display。

#### 9. 操作提示显示 Note

主要有操作提示显示区 Note 及其右侧空白部分。

#### 10. 阈值设置区

主要有 4 路阈值设置输入框阈值 1~阈值 4，一般默认依次为 40、110、180、260。

### 操作步骤

#### 操作前准备

系统板时钟电源网线等正常连接，如图 3 (右);

#### 软件操作

##### 1. 软件运行

运行软件 Si-BDM-Configurator 应用程序。

##### 2. 打开串口

点击 CommPort,选择和系统板连接的串口号，其他设置为默认，选择好串口后点击 OpenComm,此时 Note 显示串口正常打开。

##### 3. 复位

点击 Reset 键，系统板复位，可以看到系统板网口指示灯闪烁，同时 Note 处提示复位成功!

##### 4. 读写编号

点击 Read Num 键读取板子编号，此时系统板编号会显示在该键的右侧，同时 Note 提示读取编号成功!

在 Write Num 键右侧输入需要写入的板子编号，如 56，点击 Write Num 键，成功后 Note 会显示配置编号成功!

##### 5. 读写 IP

点击 Read IP 键，此时系统板 IP 地址会显示在该键的右侧，同时 Note 会提示读取 IP 成功!

在 Write IP 键右边输入需要配置的 IP,如 195.115.24.1，点击 Writer IP 键，此时 Note 提示配置 IP 成功!

##### 6. 阈值配置

配置阈值 text 文件和单通道阈值的配置与读取,此 3 种操作都需要电路板的阈值文件，文件格式为 text 文件，数据类型要求为整型。

###### 1) Text 阈值文件

点击 calibration Data 键，选中对应板子的阈值文件后，选中的文件路径会显示在 File Name 的右侧，此时 Send Data 键可点击。点击 Send Data 键进行阈值配置，等待约半分钟后如果配置成功，此时会弹出信息提示框，提示配置完成，点击确定按钮即可。

###### 2) 单通道阈值配置与读写

单通道的阈值配置和读写需要先读取该系统板的阈值配置数据，否则无法操作。点击 Calibration Data 即可读取阈值配置文件，如果之前已经点击读取了阈值文件，则此处可以省略。

i. 写单通道阈值

点击 Channel 和 Threshold 下拉键选择需要配置的通道号（1-72）和阈值号（1-4），在 Data 数据框输入需要配置的电压值，如 200mv，点击 Write Data，此时 Note 提示写通道数据成功，表示操作正常。

ii. 读单通道阈值

点击 Channel 和 Threshold 下拉键，选择需要读取的通道号和阈值号，点击 Read Data 键，即可读取对应通道的阈值。如选择 channel18 和 Thresold3,点击 Read Data，此时 Data 数据框显示该通道对应阈值，Note 提示读取通道数据成功！

7. 计数复位及显示清除

为配合使用人员使用，对系统板返回数据做了计数处理和显示。软件每接收到一条返回指令，Count of Received Data 的计数会加 1，同时该指令会显示在数据框中，Count Reset 键可对计数值进行清零处理，Clear Display 键可对显示数据进行清除处理。

8. 关闭串口

待操作完成，点击 CloseComm 键关闭串口后，点击右上角系统关闭键 X,即可退出软件。

**说明**

1. 软件界面设有 4 个阈值，分别为阈值 1-4，一般使用情况下请勿随意更改！
2. 禁止在单步操作还未完成时强制关闭串口或者插拔串口线。
3. 软件会对返回指令进行解析，如果返回的指令错误次数超过 10 次，会弹出红色字体警告信息，此时需要关闭串口然后重新打开，如果此操作失败，请检查相关硬件连接。
4. 有任何问题或者软件异常请及时反馈。

## 五、 注意事项：

- 探头严禁磕碰，使用时需进行遮光保护；
- 壳体禁止摔碰、剧烈碰撞或者振动冲击等；
- 防火，防潮，防腐蚀，防外部强电电击；
- 严禁自行拆除 BDM 外壳。