

DMD Experiment Studio

用户操作手册

适用版本：v0.18.7 (Windows)

目标读者：实验室操作人员

硬件平台：DLPC900EVM 单核板 + DLP6500 DMD

文档版本：V1.0

2026 年 9 月

目录

第一章 软件概述	5
1.1 软件简介.....	5
1.2 运行环境与系统要求.....	5
1.3 安装与启动.....	5
1.4 系统组成与硬件连接.....	6
1.5 连接设备.....	7
1.6 主界面导航说明.....	8
1.7 运行记录与实验数据导出.....	9
第二章 系统设置与设备状态	10
2.1 连接状态与固件版本.....	10
2.2 专家验收模式.....	10
2.3 系统设置项.....	11
2.4 图案显示模式.....	13
2.5 全局投影方向（输出方向）.....	13
第三章 五种触发模式实操	14
3.1 触发模式概述.....	14
3.2 模式一：内部定时.....	15
3.3 模式二：等待 TRIG_IN_1 上升沿.....	16
3.4 模式三：等待 TRIG_IN_1 下降沿.....	17
3.5 模式四：连续（不等待触发）.....	18

3.6 模式五：下一帧并保持.....	19
3.7 触发同步参数设置.....	20
3.8 序列编排功能详解.....	21
第四章 ROI 编辑实操	24
4.1 ROI 是什么	24
4.2 支持的类型.....	24
4.3 基本操作.....	24
4.4 常用技巧.....	24
4.5 高级编辑功能.....	25
第五章 常见故障处理	26
5.1 故障一：软件连接不上设备.....	26
5.2 故障二：上传显示成功但 DMD 无变化.....	26
5.3 故障三：序列启动后停在第一帧不动.....	26
5.4 故障四：触发页或专家模式复选框灰色.....	26
5.5 故障五：状态栏显示序列中止.....	27
5.6 故障六：报设备配置与序列不一致.....	27
5.7 故障七：提示固件版本非 6.2.0.....	27
5.8 故障八：断开重连后启动序列报配置不一致.....	27
5.9 故障九：导出图片提示没有权限.....	27
5.10 故障快速排查表	27
第六章 安全注意事项	28

6.1 通风散热.....	28
6.2 防静电 (ESD)	28
6.3 电源安全.....	28
6.4 光辐射安全.....	28
6.5 实验间歇与 DMD 保护.....	28
附录 A 日常使用检查表	29
附录 B 版本记录.....	30

第一章 软件概述

1.1 软件简介

DMD Experiment Studio 是一款用于控制 DLP（数字光处理）数字微镜器件（DMD）的实验软件。软件基于 DLPC900 控制器与 DLP6500 DMD 硬件平台，提供图案设计、序列编排、触发同步、光学校准、相机标定等功能，广泛应用于光遗传刺激、结构光照明、高速光学成像、光刺激行为学等实验场景。

本手册面向实验室操作人员，围绕软件的核心操作流程编写，覆盖五种触发模式实操、ROI 编辑、常见故障处理等内容。

1.2 运行环境与系统要求

项目	要求
操作系统	Windows
硬件平台	DLPC900EVM 单核板 + DLP6500 DMD
供电	12V 直流电源（板上电源灯亮表示供电正常）
通信接口	USB（DLPC900 以 USB HID 设备枚举，无需额外驱动）
软件版本	v0.18.7（固件版本需为 6.2.0）

1.3 安装与启动

安装与启动步骤：

- 步骤 1：**获取 DMD Experiment Studio 安装包（v0.18.7）。
- 步骤 2：**运行安装程序，按向导提示完成安装。
- 步骤 3：**从开始菜单或桌面快捷方式启动软件。
- 步骤 4：**打开软件主界面后，先连接设备（见 1.5 节）。

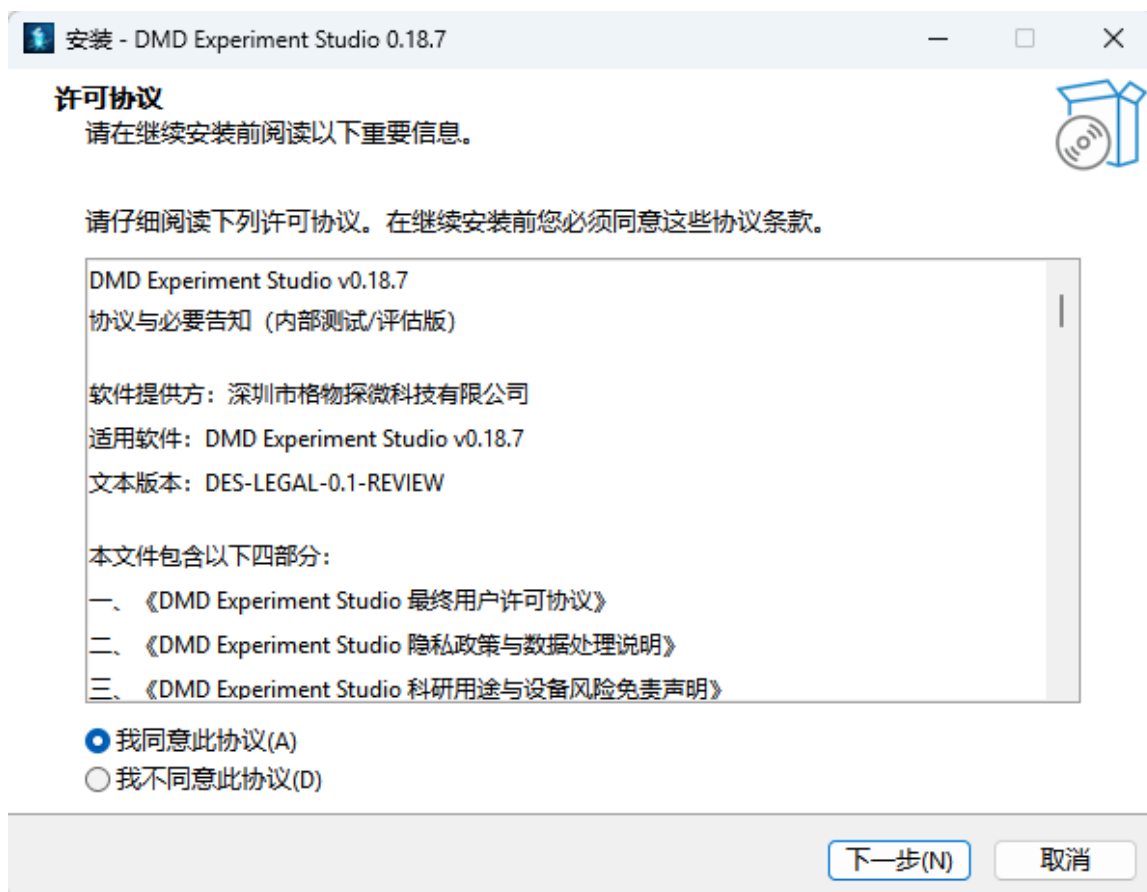


图 1-1 软件安装向导截图

1.4 系统组成与硬件连接

DMD Experiment Studio 实验系统由软件、DMD 投影仪与触发源三部分组成：

- 软件：DMD Experiment Studio，负责图案与序列的设计、编排与控制（本手册主体）。
- DMD 投影仪：基于 TI DLPC900 + DLP6500 平台的数字投影模块（本手册示例为 MIGHTEX 设备），负责将软件生成的图案以光的形式投影输出。
- 触发源：函数发生器、相机或电生理设备等外部信号源，用于实现投影与外部设备的帧级同步（详见第三章）。



图 1-2 DMD 投影仪（MIGHTEX）实物及主要接口截图（要替换）

投影仪主要接口说明如下：

接口	说明
USB	连接电脑，用于软件控制与图案上传。
TRIG IN	外部触发输入，接收函数发生器或相机等设备的触发信号（接线详见 3.3.1 节）。
TRIG OUT	触发输出，将本设备触发信号输出，用于同步其他外部设备。
12V dc	直流电源接口（12V）。具体电压与极性请以设备铭牌及配套电源适配器为准。

触发信号接线要点：使用模式二/三（等待 TRIG_IN_1 上升沿/下降沿）时，需将函数发生器或外部设备的触发信号接入 TRIG IN，详细接线请见 3.3.1 节；使用模式一（内部定时）或模式五（下一帧并保持）时，无需连接触发信号。

1.5 连接设备

首次使用前，请按以下步骤连接设备：

步骤 1：连接 12V 电源，确认板上电源灯亮（绿灯）。

步骤 2：用 USB 线将设备连接到电脑。

步骤 3：启动软件，勾选「自动连接」。

步骤 4：连接成功后，状态栏变为绿色「已连接」，并显示固件版本。

步骤 5：若状态栏一直显示「未连接」，请按第五章「故障一」排查。

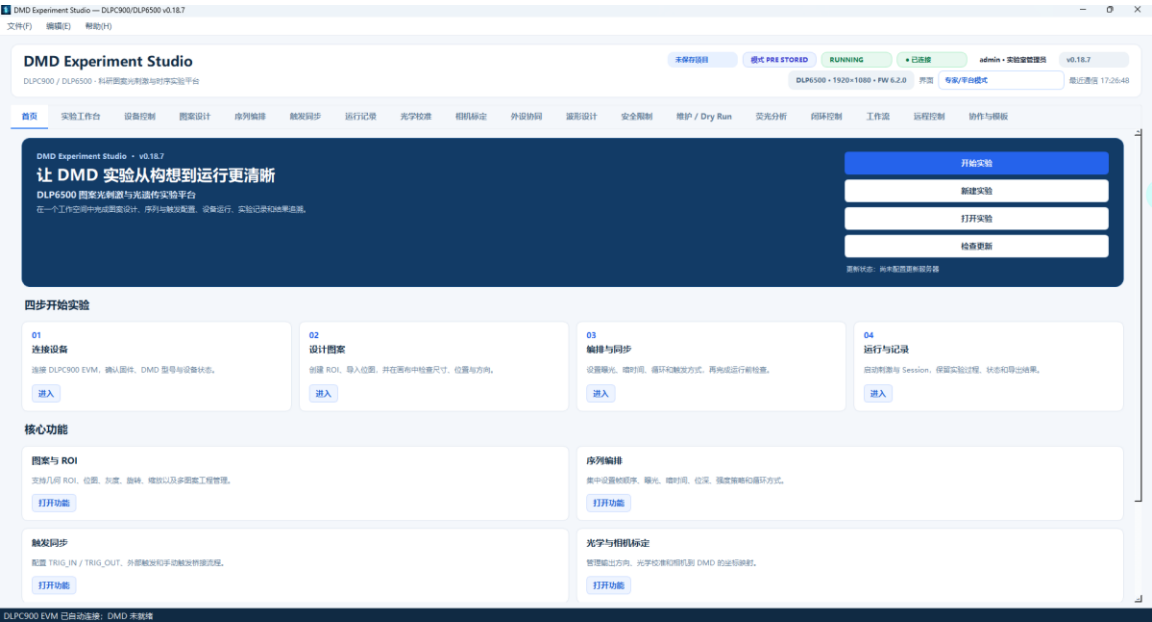


图 1-3 软件主界面及连接状态（状态栏绿色已连接）截图

1.6 主界面导航说明

软件主界面顶部导航栏包含以下功能页签：

页签	主要功能
首页	实验总览、快捷入口
实验工作台	实验流程编排与运行
设备控制	设备状态、工作模式控制
图案设计	ROI 编辑、位图导入（见第四章）
序列编排	图案序列与触发模式设置（见第三章）
触发同步	TRIG_IN / TRIG_OUT 触发参数设置
运行记录	历史运行记录查询
光学校准 / 相机标定	光路与相机标定
外设协同 / 波形设计	外部设备协同、波形生成
安全限制	设备安全限制设置
维护 / Dry Run	设备维护与试运行
荧光分析 / 闭环控制	荧光分析、闭环反馈控制
工作流 / 远程控制 / 协作与模板	工作流编排、远程控制、模板协作



图 1-4 软件主界面导航栏截图

1.7 运行记录与实验数据导出

「运行记录」页用于查看与导出实验数据。序列开始时软件可自动创建实验 Session（运行记录），记录运行事件、设备状态、ROI 刺激曲线、相机图像索引、时间戳与 OTF 性能数据；序列结束或停止时自动停止 Session。

- 自动 Session：可在「运行记录」页勾选「序列开始时自动创建 Session」；运行时也可手动「开始 Session」。
- 数据导出：Session 记录可导出为 CSV / JSON (UTF-8)，包含方案一标准 CSV（运行时间线、事件、设备状态等）。
- OTF 性能：每次成功的单帧或多帧 OTF 上传会自动记录编码 / 传输 / 校验 / 启动耗时，可在「性能日志」查看并导出。
- 光学首光证据：可记录示波器、光电二极管等外部测量作为光学首光证据，关联到最近一次 OTF 样本。

提示：图像索引与实验事件只有在 Session 记录中才会被记录；正式实验前建议先开始 Session。

第二章 系统设置与设备状态

2.1 连接状态与固件版本

软件状态栏用于显示设备连接状态与关键信息：

- **连接状态：**已连接 / 未连接：连接成功后为绿色「已连接」。
- **固件版本：**连接后状态栏显示固件版本号，正确版本为 6.2.0。
- **显示模式：**状态栏应显示为 Pattern On The Fly（图案实时模式）。

注意：固件版本非 6.2.0 时软件会弹出警告，可能导致上传成功但投影无图案，处理方法见第五章故障二、故障七。

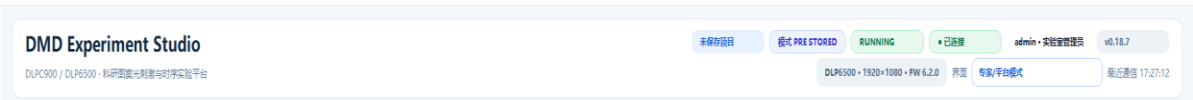


图 2-1 状态栏连接状态与固件版本显示截图

2.2 专家验收模式

「专家验收模式」位于触发同步页。勾选后，软件在启动序列时会自动将设备内触发配置与序列要求对齐，避免「设备配置与序列不一致」的报错。

启用前提：该模式仅在已连接示波器 / 逻辑分析仪并准备执行时序验收步骤时启用；触发配置写入在完成逻辑分析仪 / 示波器时序验收前保持锁定，请勿在未连接验收设备的情况下勾选。

- **作用：**勾选后启动序列，软件自动写入匹配的触发配置。
- **注意：**USB 断开重连会自动关闭专家模式，需重新勾选。
- **灰色处理：**复选框灰色表示设备处于非就绪状态，鼠标悬停可查看具体原因（多为序列中止锁存，按第五章故障五恢复）。

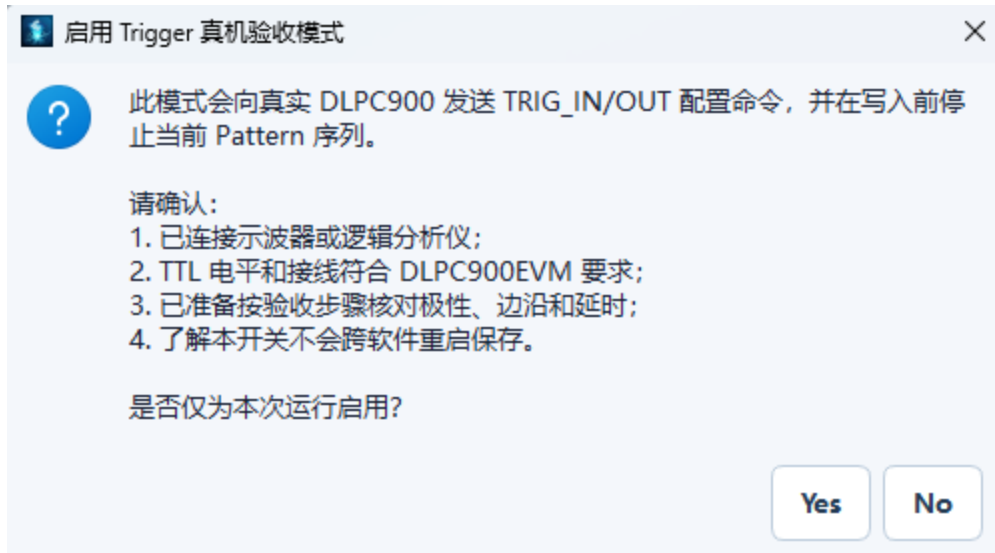


图 2-2 触发同步页「专家验收模式」复选框截图

2.3 系统设置项

系统级设置分布在「设备控制」与「安全限制」两个页面。

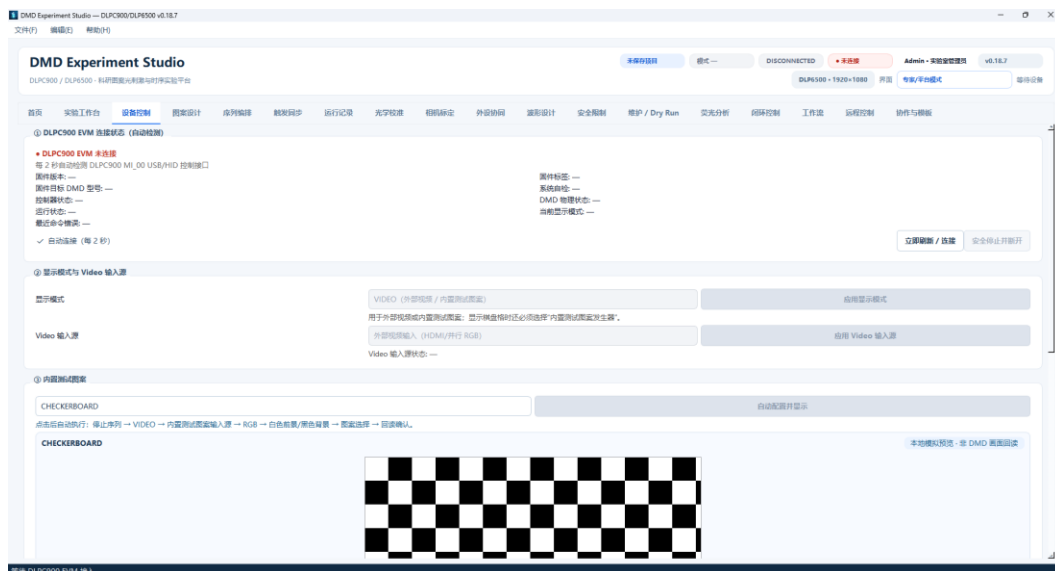


图 2-3 设备控制页面截图

「设备控制」页面从上到下包含以下功能区：

- ① DLPC900 EVM 连接状态（自动检测）：显示设备连接状态、固件版本、固件目标 DMD 型号、控制器状态、运行状态、系统自检、DMD 物理状态、当前显示模式等；默认每 2 秒自动检测，可勾选「自动连接（每 2 秒）」，也可点击「立即刷新 / 连接」或「安全停止并断开」。

② 显示模式与 Video 输入源：设置显示模式（如 VIDEO：外部视频 / 内置测试图案）与 Video 输入源（如外部视频输入 HDMI/并行 RGB），点击「应用显示模式」「应用 Video 输入源」生效。

③ 内置测试图案：选择测试图案（如 CHECKERBOARD 棋盘格）后点击「自动配置并显示」，软件自动执行“停止序列 → VIDEO → 内置测试图案输入源 → RGB → 白色前景 / 黑色背景 → 图案选择 → 回读确认”。

④ LED 控制：分别调节 R（红）/ G（绿）/ B（蓝）三色 LED 电流，点击「应用 LED 设置」生效。

⑤ 全局运行状态与安全控制：显示 Pattern 序列运行状态（完整运行控制请前往「序列编排」页），可勾选「安全停止序列」。

⑥ DMD 保护与电源管理：提供「进入 Idle（短暂停顿）」「进入 Standby（长等待 / 关机）」「恢复 Normal」三个电源状态按钮。注意：Standby 完成前不要断开硬件电源，完成后可安全关闭软件和板卡电源；唤醒后 OTF 图案必须重新上传。

「安全限制」页面包含以下功能区：

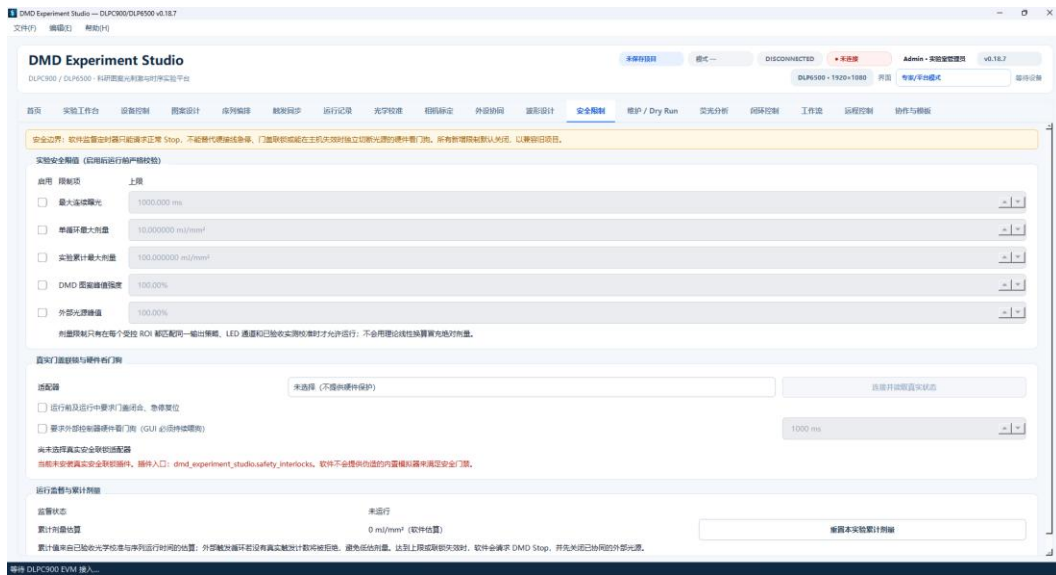


图 2-4 安全限制页面截图

- 实验安全限值（启用后运行前严格校验）：可分别启用「最大连续曝光」（默认 1000.000 ms）、「单循环最大剂量」（默认 10.000000 mJ/mm²）、「实验累计最大剂量」（默认 100.000000 mJ/mm²）、「DMD 图案峰值强度」（默认 100.00%）、「外部光源峰值」（默认 100.00%）。剂量限制只有在每个受控 ROI 都匹配同一输出策略、LED 通道和已验收实测校准时才允许运行。
- 真实门盖联锁与硬件看门狗：选择安全联锁适配器并点击「连接并读取真实状态」；可勾选「运行前及运行中要求门盖闭合、急停复位」和「要求外部控制器硬件看门狗（GUI 必

须持续喂狗，默认 1000 ms)」。未安装真实安全联锁插件时，软件不会提供伪造的内置模拟器来满足安全门禁。

- 运行监督与累计剂量：显示监督状态与「累计剂量估算」（软件估算值），可点击「重置本实验累计剂量」清零。

安全边界提示：软件监管定时器只能请求正常 Stop，不能替代硬接线急停、门盖联锁或硬件看门狗；所有新增限制默认关闭，以兼容旧项目。

2.4 图案显示模式

设备支持多种显示模式，本手册的操作以「Pattern On-The-Fly」（图案实时加载）模式为主。上传显示成功但投影无图案时，请先确认状态栏显示模式为 Pattern On The Fly。

2.5 全局投影方向（输出方向）

全局投影方向在「光学校准」页的「DMD 全局投影方向」中设置，用于匹配投影光路方向，统一作用于图案设计预览、PNG 导出、单帧上传和多帧 OTF 输出，不改变每个 ROI 保存的原始坐标。

- 原始：按 DMD 原生方向输出（默认）。
- 水平翻转（左右镜像）：图像左右翻转。
- 垂直翻转（上下镜像）：图像上下翻转。
- 旋转 180°：图像旋转 180°。

提示：切换方向后需重新上传图案才会更新 DMD 显示；图案设计页会同步显示当前方向。

第三章 五种触发模式实操

3.1 触发模式概述

DMD Experiment Studio 提供五种触发模式，用于控制图案序列的播放时机。前四种设置在「序列编排」页的 LUT 参数表格中，每一帧可独立选择；第五种为手动操作按钮，位于序列编排页的「序列运行控制」区域。用户可根据实验需求选择合适的触发方式，实现 DMD 与相机、电生理设备等外部设备的精确同步。

表格列数较多，窗口较窄时请向右滚动。列头从左到右依次为：图案、曝光时间、暗时间、位深、LED、灰度、触发模式、反相、清除等。

触发模式	是否需要外部信号	行为	典型用途
1. 内部定时	否	帧曝光结束后自动切换到下一帧（默认模式）	自动循环播放
2. 等待 TRIG_IN_1 上升沿	是	检测到上升沿后推进到下一帧	与相机/电生理设备同步
3. 等待 TRIG_IN_1 下降沿	是	检测到下降沿后推进到下一帧	负逻辑信号源
4. 连续（不等待触发）	否	当前帧显示后保持不切换	播完刺激序列后保持静场
5. 下一帧并保持	否（手动）	手动点击按钮逐帧检查	逐帧验证图案

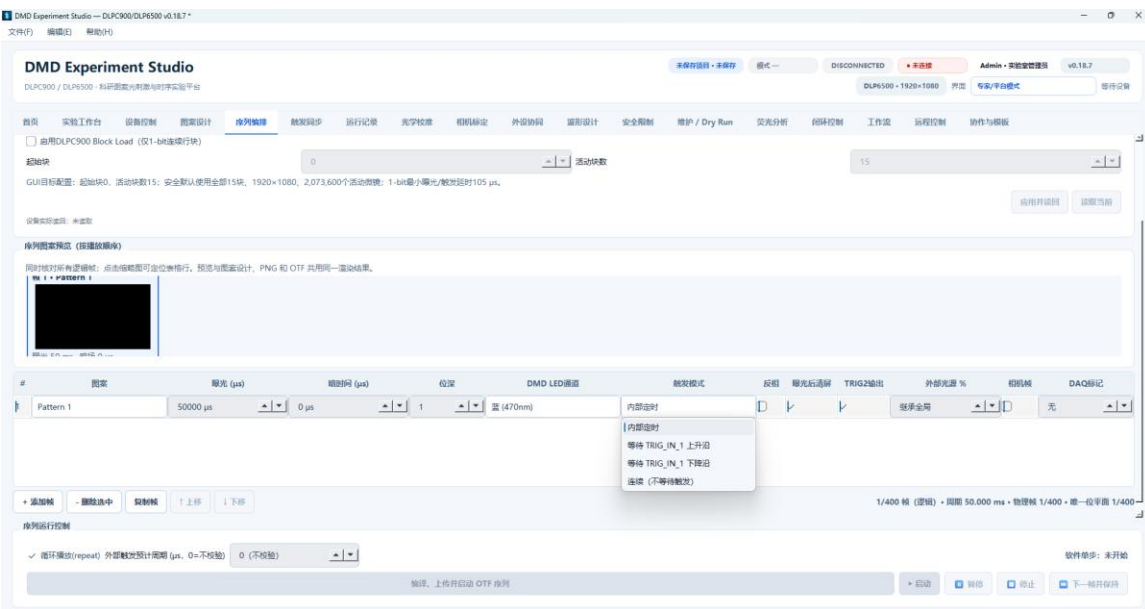


图 3-1 序列编排页中触发模式的下拉选项

3.2 模式一：内部定时

这是最常用的模式，不需要外部信号，帧曝光结束后自动切换到下一帧，适合自动循环播放。

3.2.1 操作步骤

步骤 1：连接设备：勾选自动连接，状态栏变为绿色「已连接」。

步骤 2：准备图案：在「图案设计」页准备若干张图案，例如全黑、全白、半灰。

步骤 3：设置参数：进入「序列编排」页，确认每行的触发模式列均为「内部定时」。

步骤 4：设置曝光：将每行曝光设为所需时长（单位微秒 μs ），例如 500000 μs （即 500 ms）。

步骤 5：勾选「循环播放」。

步骤 6：点击「编译、上传并启动」，确认弹窗后等待上传完成。

步骤 7：观察投影：图案按设定时长循环切换。

步骤 8：点击「停止」结束。

3.2.2 注意事项

注意：曝光时间有最小值限制，1-bit 全幅图案（使用全部 15 块）最小为 105 μs ，低于下限软件会拒绝；若启用部分活动块（Block Load），最小曝光可进一步降低，详见 3.8.3 节。

3.3 模式二：等待 TRIG_IN_1 上升沿

这是外部触发的核心功能。该帧显示后序列暂停，直到 J20 接口的 TRIG_IN_1 引脚检测到一个从 0V 到 3.3V 的上升沿才推进到下一帧。适合与相机或电生理设备同步。

3.3.1 硬件接线（只需做一次）

- J20 第 2 脚接函数发生器通道 1 输出，作为触发信号。
- J20 第 3 脚接函数发生器地线，保证共地。
- J20 第 5 脚接 3.3V 恒高电平，作为门控使能。这一步非常重要，不拉高触发完全无效。
- J20 第 6 脚接该 3.3V 电源的地线。
- J20 第 1 脚和第 4 脚悬空，它们是板内供电脚，不要外接。
- **跳线：**确认板上跳线帽 J19 和 J21 均跳在 1-2 位，即 3.3V 档。
- **函数发生器设置：**方波，0~3.3V（High-Z 模式），频率从 1Hz 起步，脉宽 10~20 μs 。
触发周期必须大于该帧曝光时间。

3.3.2 操作步骤

步骤 1：打开「触发同步」页，确认 TRIG_IN_1 面板边沿为「上升沿」，延时不小于 105 μs 。

步骤 2：勾选「专家验收模式」，弹窗点确定；若复选框灰色，鼠标悬停可查看禁用原因。

步骤 3：进入「序列编排」页，第一帧触发模式选「等待 TRIG_IN_1 上升沿」，其余帧保持「内部定时」。

步骤 4：点击「编译、上传并启动」。

步骤 5：观察 DMD 显示第一帧后停止不动，状态栏显示「序列运行中」。

步骤 6：函数发生器输出一个上升沿，DMD 推进到第二帧，随后按内部定时自动播完。

步骤 7：勾选「循环播放」时，每个周期都会重新等待触发。

3.3.3 实操要点

- **门控：**TRIG_IN_2 不保持高电平则触发完全无效，这是最常见的不换帧原因。
- **时序：**曝光未结束时到来的触发沿会被丢弃、不会排队，所以触发周期要留够余量。
- **计数：**每个上升沿推进一帧，给几个脉冲最多推进几帧。

3.4 模式三：等待 TRIG_IN_1 下降沿

与「等待上升沿」完全对称，只是检测从 3.3V 到 0V 的下降沿。适合负逻辑信号源。

3.4.1 差异点

- 触发同步页 TRIG_IN_1 边沿需改为「下降沿」。

注意：同一序列中不能混用上升沿和下降沿，软件会拒绝启动。

其余步骤与 3.3 节相同。

3.4.2 上升沿与下降沿的选择依据

选择上升沿还是下降沿，取决于外部设备的触发信号极性。大多数相机和数据采集设备默认输出上升沿触发信号；部分设备输出低电平有效信号，此时应选择下降沿触发。如有疑问，可用示波器测量外部信号的有效边沿。

3.5 模式四：连续（不等待触发）

该帧显示后不再切换，一直保持当前图案，直到手动停止。该模式不需要外部信号。

3.5.1 操作步骤

步骤 1： 在序列编排页，将最后一帧的触发模式选为「连续（不等待触发）」。

步骤 2： 不勾选「循环播放」。

步骤 3： 点击「编译、上传并启动」。

步骤 4： 前面的帧自动播放，到最后一帧后停在末尾不再变化。

3.5.2 典型用途

播完刺激序列后保持静场，等待实验结束。

3.6 模式五：下一帧并保持

序列停止后，手动让指定帧上台并保持，用于逐帧检查图案。该按钮位于序列编排页底部的「序列运行控制」区域。

3.6.1 操作步骤

- 步骤 1：上传并启动任一序列后，点击「停止」。
- 步骤 2：点击「下一帧并保持」按钮，跳到下一帧并静止显示。
- 步骤 3：反复点击逐帧前进；重新启动序列会退出单步状态。

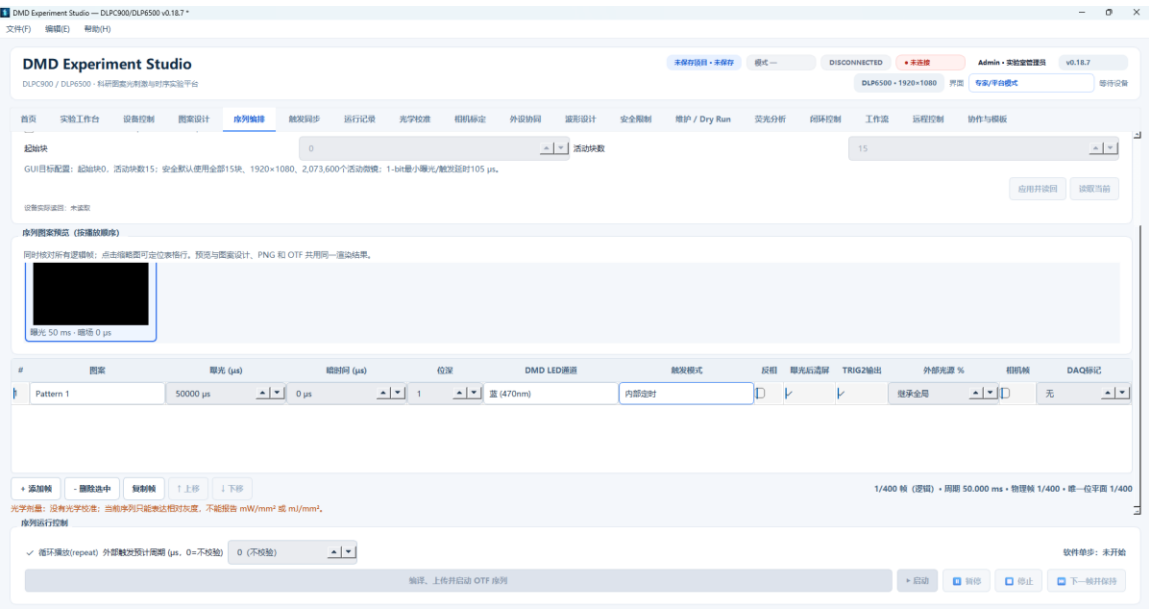


图 3-2 序列运行控制区域（含「下一帧并保持」按钮）

3.7 触发同步参数设置

「触发同步」页用于配置 TRIG_IN 和 TRIG_OUT 通道的参数，实现 DMD 与外部设备的精确时序同步。页面包含四个主要区域：TRIG_IN_1、TRIG_IN_2、TRIG_OUT_1、TRIG_OUT_2，以及 TRIG_IN_1 手动单步功能。

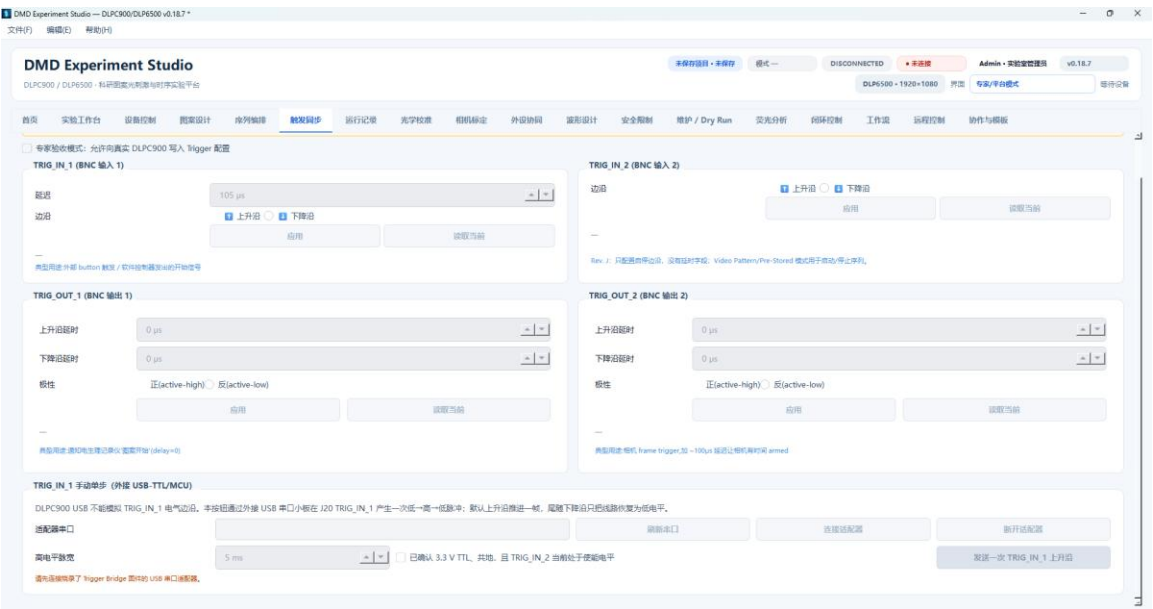


图 3-3 触发同步设置页面

3.7.1 TRIG_IN_1 (BNC 输入 1)

TRIG_IN_1 是主要的外部触发输入通道，用于接收外部设备的触发信号。

- **延迟：**触发信号的延迟补偿时间，默认 105 μs ，可设范围 0~65535 μs ；实际下限由当前 DLP6500 活动块数量决定（全块模式为 105 μs ）。
- **边沿：**触发有效边沿，可选「上升沿」或「下降沿」。
- **应用：**点击后将当前设置写入设备。
- **读取当前：**从设备读取当前实际配置。

3.7.2 TRIG_IN_2 (BNC 输入 2)

TRIG_IN_2 主要用作序列的启停使能信号。当 TRIG_IN_2 为高电平时，TRIG_IN_1 触发有效；当 TRIG_IN_2 为低电平时，序列暂停。Rev. J 固件仅支持配置启停边沿，无延迟字段。Video Pattern / Pre-Stored 模式下用于启动/停止序列。

3.7.3 TRIG_OUT_1 / TRIG_OUT_2 (BNC 输出)

TRIG_OUT 通道用于向外部设备输出同步信号，每个图案开始时输出脉冲。

- **上升沿延时：**输出脉冲上升沿相对于图案开始的延迟时间，可设范围 $-20 \sim 20000 \mu s$ 。
- **下降沿延时：**输出脉冲下降沿相对于图案开始的延迟时间（决定脉冲宽度），可设范围 $-20 \sim 20000 \mu s$ 。
- **极性：**可选「正(active-high)」或「反(active-low)」。
- **TRIG_OUT_1 典型用途：**通知电生理记录仪图案开始 (delay=0)。
- **TRIG_OUT_2 典型用途：**相机 frame trigger，加约 $100 \mu s$ 延迟让相机有时间 armed。

3.7.4 TRIG_IN_1 手动单步 (外接 USB-TTL/MCU)

DLPC900 USB 不能模拟 TRIG_IN_1 电气边沿。该功能通过外接 USB 串口小板在 J20 TRIG_IN_1 产生一次低→高→低脉冲；默认上升沿推进一帧，尾随下降沿只把线路恢复为低电平。

- **适配器串口：**选择连接的 USB-TTL 适配器串口号。
- **高电平脉宽：**设置输出高电平的持续时间，默认 5ms，可设范围 $1 \sim 100ms$ 。
- **发送一次 TRIG_IN_1 上升沿：**点击后产生一次模拟触发脉冲。

3.8 序列编排功能详解

序列编排页不仅用于选择触发模式，还包含丰富的逐帧参数与运行控制功能。本节补充介绍序列表格各列含义、灰度/强度输出策略、部分活动块、外部触发预检与运行控制。

3.8.1 序列表格各列说明

序列表格的每一行定义一个播放帧。除触发模式外，常用列的含义如下：

- **图案：**该帧要显示的图案（在「图案设计」页创建）。
- **曝光时间：**该帧图案点亮时长，单位 μs ；不能低于当前位深与活动块数对应的最小曝光。
- **暗时间：**曝光结束后、下一帧开始前的暗场时间，用于微镜复位；触发、相机、DAQ 标记只绑定第一个子帧。
- **位深：**图案灰度位深（1-bit 或 8-bit）；若使用空间半色调 / 时间 PWM 强度输出，编译时会强制为 1-bit。
- **LED：**该帧使用的 LED 通道（如蓝 470nm 等）。
- **灰度 / 强度：**该帧的灰度或相对强度设置（配合下方「灰度/强度输出策略」）。
- **触发模式：**见 3.2~3.5 节的四种序列触发模式。
- **反相：**勾选后该帧图案黑白对调，用于光遗传抑制等需要反相信号的应用。
- **清除（曝光后清屏）：**曝光结束后立即清屏（进入黑场），避免图案残留显示。
- **外部光源 %：**该帧对外部光源或 DAQ 模拟输出的每帧强度设定（与 LED 电流不同，不改变 DLPC900 每帧 LED 电流）。
- **相机帧：**勾选后请求硬件触发相机在此帧采集。
- **DAQ 标记：**由硬件时钟 DAQ 输出或记录的 16-bit 帧标记。
- **前置脉冲：**帧起始的额外脉冲，配合波形设计 / 外设协同使用。

3.8.2 灰度与强度输出策略

序列编排页「灰度/强度输出策略」下拉提供三种输出方式，影响灰度的表达方式与最小曝光：

- DLPC900 原生多位深：按序列表位深（1-bit / 8-bit）直接输出，灰度 0~255。
- 空间半色调（强制 1-bit）：把每个灰度图案转换为 1-bit 点阵，序列表位深编译时强制为 1；较小 ROI 的实际占空比量化误差较大，需在样品面实测确认。
- 时间 PWM 展开（强制 1-bit）：把每个逻辑帧展开为 N 个 1-bit 子帧，可表达 N+1 个占空比等级；每个逻辑曝光至少为 N 倍的单槽最小曝光。

提示：需要 25%、50% 等中间强度时，请选择空间半色调或时间 PWM 方式；使用原生多位深灰度计算绝对光强时，需要对应位深下的已验收实测标定。

3.8.3 部分活动块（Block Load）

DLP6500 由 15 个行块组成，每块 72 行（全幅 1920×1080）。序列编排页可启用「部分活动块（专家）」，仅点亮 1-bit 图案的连续若干行块，其余行由控制器强制为 OFF，从而降低最小曝光时间与最小触发延时下限。

- 适用条件：仅适用于 1-bit 物理图案；多位深（8-bit）帧不允许启用。
- 最小曝光：全幅 15 块为 105 μs ；减少活动块数可逐步降低，最少 1 块时为 24 μs （例如 2 块 45 μs 、7 块 60 μs 、14 块 101 μs ）。
- 活动块数量同时决定最小曝光与最小触发延时下限，序列编排页会实时显示「1-bit 最小曝光/触发延时 X μs 」。

注意：非活动块长时间保持 OFF 会增加微镜偏置风险；启用部分活动块时，实验间歇建议进入 DMD Idle（见 6.5 节）。

3.8.4 外部触发预计周期与运行前预检

使用外部触发（等待 TRIG_IN_1 上升沿 / 下降沿）时，可在序列编排页填写「外部触发预计周期（ μs ，0=不校验）」。软件在启动前会执行时序预检：

- 所需周期：每帧所需周期 = TRIG_IN_1 延时 + 曝光时间 + 暗时间；预计周期短于某帧所需周期时，软件会发出预警（提示可能丢失触发或发生时序错位）。
- 上传取消：若外部触发周期与帧时间冲突导致无法保证时序，上传会被取消，并提示增大外部触发周期或缩短曝光 / 暗时间。
- 实测建议：函数发生器等外部源的触发周期应大于该帧曝光时间并留足余量，具体见 3.3.3 实操要点。

3.8.5 序列运行控制与播放方式

序列编排页底部「序列运行控制」区域提供完整的运行控制按钮：

- 编译、上传并启动：首次运行或修改序列后使用，编译当前所有帧、上传图像与 LUT，并从第一帧启动。
- 启动（已驻留序列）：启动已上传并驻留在 DLPC900 中的序列，不重新编译图案。

- 暂停 / 继续：暂停序列推进，暂停成功后按钮自动变为「继续」。
- 停止：停止当前 Pattern 序列。
- 软件单步 / 下一帧并保持：序列停止后手动逐帧推进（见 3.6 节模式五）。
- 循环播放：勾选后序列循环播放；不勾选为单次播放，播完即停。

注意：序列帧数受 OTF LUT 容量限制（最多约 400 帧）；超出容量时软件会提示「序列容量不足」。

第四章 ROI 编辑实操

4.1 ROI 是什么

ROI (Region of Interest, 感兴趣区域) 是画在 1920×1080 DMD 上的发光或遮光图形。白色为亮区, 黑色为暗区。

4.2 支持的类型

类型	绘制方式
圆形	工具栏选圆后, 在画布上拖拽 (圆心 + 半径)
矩形	拖拽绘制 (左上角坐标 + 宽高)
多边形	任意顶点, 逐点点击、双击闭合
单点	画笔工具单击
线段	画笔工具拖拽
自由曲线	画笔工具自由绘制
文字	文字工具输入内容后放置
图像层	导入 BMP / PNG / JPEG / TIFF 图片作为投影图像层 (注意: 整幅导入图是投影图层, 不是矢量 ROI; 如需对白色区域做矢量编辑, 可转换为 ROI 掩膜, 见 4.5 节)

4.3 基本操作

步骤 1: 进入「图案设计」页。

步骤 2: 从左侧工具栏选择形状工具。

步骤 3: 在画布上拖拽绘制, 绘制后自动出现在右侧列表。

步骤 4: 选中 ROI 后, 在属性面板调整精确坐标、半径、宽高和灰度。

步骤 5: 灰度范围 0~255, 0 为全黑遮光, 255 为全亮。

步骤 6: 在列表中可删除、重命名、排序。

步骤 7: 每个图案可包含多个 ROI, 顶部下拉可切换、新建、复制图案。

4.4 常用技巧

技巧	操作方式
精确定位	选中后在属性面板直接输入坐标
微调位置	选中后用键盘方向键移动
等比缩放	属性面板百分比框: 箭头每次 1%, 按钮每次 10%
撤销/重做	Ctrl+Z 撤销, Ctrl+Y 重做
镂空效果	黑色 ROI 叠加在白色 ROI 之上
文字刺激	文字工具输入内容、设置字号后放置
相机图映射	相机标定页可将相机图像区域映射为 DMD 图形

保存方案	Ctrl+S 保存工程文件，下次可恢复全部 ROI
------	---------------------------

4.5 高级编辑功能

图案设计页除基本绘制外，还提供以下高级功能（均在左侧工具栏 / 上方菜单中）：

- 位图导入：导入 BMP / PNG / JPEG / TIFF 图像作为当前图案的投影图像层，可设置位置、尺寸并拖动；也可作为参考背景图（如荧光图）辅助勾画 ROI。
- 位图转 ROI：对导入的位图进行二值化与连通域分析，把白色区域自动转换为精确像素掩膜 ROI（支持面积过滤、形态学开 / 闭运算、自动填孔等）。
- 布尔运算：选择 2 个及以上 ROI 后，可执行并集 / 交集 / 差集 / 异或，生成复合 ROI。
- 分组：选择多个 ROI 创建持久分组，可整体移动、缩放、旋转、对齐和分布。
- 批量变换：批量移动 / 缩放 / 旋转选中 ROI，或按精确参数批量排列。
- 旋转与排列：围绕对象中心或选择中心旋转；快速布局支持 Grid Scan（规则矩形 ROI 阵列）、均匀平行线阵列、沿路径扫描等自动生成。
- 沿路径扫描：选择单点 / 线段 / 自由手绘 ROI 后，沿中心轨迹等距生成刺激点，并按路径方向自动加入 OTF 序列。
- 像素蒙版与像素编辑：ROI 可转换为精确 DMD 像素蒙版；位图图层支持非破坏性画笔（写白）、橡皮擦（写黑）、局部遮罩与连通域选择。
- 文字 ROI：输入中英文、选择字体字号后生成精确二值文字 ROI（建议使用微软雅黑、黑体或宋体）。
- 输出方式：1-bit 序列支持原生位深、空间半色调、时间 PWM 三种灰度输出（详见 3.8.2）。

第五章 常见故障处理

5.1 故障一：软件连接不上设备

现象：状态栏一直显示「未连接」。

排查顺序：

- 步骤 1：**确认 12V 电源已上电，板上电源灯亮。
- 步骤 2：**换一根 USB 线，换电脑后置 USB 口。
- 步骤 3：**关闭 TI 官方 GUI 等占用 USB 的软件。
- 步骤 4：**设备管理器查看有无 TI 设备。

5.2 故障二：上传显示成功但 DMD 无变化

现象：软件提示已上传并运行，投影没有图案。

原因与处理：

- **固件：**固件版本非 6.2.0 时会弹出警告。停止实验并保存方案，不要自行刷写固件、跳过引导区或更改板卡配置；记录软件版本、固件版本、硬件型号和报错截图后，联系授权技术支持。
- **模式：**显示模式不对。状态栏应为 Pattern On The Fly。
- **触发：**如果序列在等待外部触发，参考故障三。

5.3 故障三：序列启动后停在第一帧不动

原因：序列中有帧设置为等待外部触发。

检查清单：

- 步骤 1：**TRIG_IN_2 是否保持 3.3V 高电平，用万用表测。
- 步骤 2：**函数发生器是否在输出，实测应为 0~3.3V 方波。
- 步骤 3：**触发周期是否大于该帧曝光时间。
- 步骤 4：**触发同步页边沿方向是否与序列一致。
- 步骤 5：**J19 和 J21 跳帽是否在 1-2 位。

5.4 故障四：触发页或专家模式复选框灰色

原因：设备处于非就绪状态。

处理：鼠标悬停灰色复选框会显示具体原因。最常见的是序列中止锁存，按故障五恢复。

5.5 故障五：状态栏显示序列中止

三级恢复法，按顺序尝试：

步骤 1： 点击「停止」，等 2 秒刷新。

步骤 2： 仍锁存则点击「安全停止并断开」，重新连接。

步骤 3： 仍锁存则给板卡断电至少 10 秒后重新上电。

软件在检测到锁存时会自动在状态栏提示以上步骤。

5.6 故障六：报设备配置与序列不一致

原因：设备内触发配置与序列要求不同，且未开启专家模式。

- **方法一：** 触发同步页勾选「专家验收模式」后重新启动序列，软件自动写入匹配配置。
- **方法二：** 手动将触发同步页参数设为与序列一致后应用。

注意： USB 断开重连会自动关闭专家模式，需重新勾选。

5.7 故障七：提示固件版本非 6.2.0

处理：停止实验，记录固件版本和提示截图后联系授权技术支持。请勿自行刷写固件、选择下载模式、跳过引导区或更改板卡配置。

5.8 故障八：断开重连后启动序列报配置不一致

原因：断开时软件自动关闭了专家模式。

处理：重新勾选「专家验收模式」再启动。

5.9 故障九：导出图片提示没有权限

原因：保存目录是受保护位置。

处理：换到桌面或文档等有写权限的文件夹。

5.10 故障快速排查表

现象	可能原因	快速处理
连不上设备	电源/USB 线/软件占用	上电、换 USB 线、关 TI GUI
上传成功无图案	固件版本不对 / 显示模式不对	联系授权技术支持；确认 Pattern On The Fly
停第一帧不动	等待外部触发	按 5.3 检查清单逐项排查
复选框灰色	设备非就绪/序列中止锁存	按故障五三级恢复
配置不一致	未开专家模式	勾选专家验收模式后重启

第六章 安全注意事项

为保证设备与人身安全，使用过程中请注意以下事项。

6.1 通风散热

为降低火灾或设备损坏风险，请确保 DLP 板卡周围空气流通良好。不要在密闭空间或遮挡通风口的情况下长时间运行设备。

6.2 防静电 (ESD)

套件包含对静电敏感 (ESD) 的元件，操作时应佩戴防静电手环等防护措施，避免直接接触电路板元件造成永久性损坏。

6.3 电源安全

使用符合要求的 12V 直流电源供电。供电异常（如电源灯不亮、供电不稳）时请勿强行操作，先断电排查后再继续。

6.4 光辐射安全

软件设置不代表实际光照剂量。涉及激光或强光源时，必须遵守光源说明书和实验室 SOP；未确认风险等级和防护措施前，不得开始实验。不得直视出光口或镜面反射。

优先使用遮光罩、光阑、光阱或闭合光路，并按已确认的波长和功率选择防护眼镜。软件“停止”不能替代独立急停、断能或联锁；发现异常光输出、过热、异味或设备状态异常时，应立即断能、停止光源并联系实验负责人。

6.5 实验间歇与 DMD 保护

长时间停顿或实验间歇时，建议让 DMD 进入保护性电源状态，避免微镜长时间保持同一位置而增加偏置风险：

- DMD Idle（短暂停顿）：进入 Idle 会停止 Pattern、关闭 LED，并让微镜执行 50/50 周期翻转以保护微镜。实验间歇（如几分钟到几十分钟）建议使用。
- DMD Standby（长等待 / 关机）：进入 Standby 会执行约 123 秒的预处理并停放微镜。长时间等待或关机前使用。
- 恢复 Normal：Standby 完成前不要断开硬件电源；唤醒后 OTF 图案必须重新上传。
- 50/50 Idle 启用前需先停止 Pattern、关闭 LED。
- 非活动块 (Block Load) 长时间保持 OFF 也会增加微镜偏置风险，实验间歇同样建议进入 Idle。

附录 A 日常使用检查表

每次实验前，可按以下清单逐项确认：

- 12V 已上电，电源灯亮。
- USB 连接，状态栏绿色。
- 固件版本 6.2.0。
- 显示模式为 Pattern On The Fly。
- 触发模式与实验方案一致。
- 外部触发时接线正确且门控已拉高。
- 实验方案已保存。

附录 B 版本记录

本手册的版本记录如下：

版本	日期	说明
V1.0	2026 年 9 月	第一版草稿：覆盖软件概述、系统设置与设备状态、五种触发模式实操、ROI 编辑实操、常见故障处理、安全注意事项及附录。

草稿日期：2026 年 9 月 2 日；内容基于 v0.18.7 源码整理。