

基于气体像素探测器GPD的X射线 偏振测量望远镜PFA电子学研制进展

刘小桦

中国科学院高能物理研究所

目录-基于气体像素探测器GPD的X射线偏振测量望远镜PFA电子学研制进展

1. 背景介绍

1.1 eXTP与PFA

1.2 PFA焦平面相机

2. 气体像素探测器GPD

3. PFA电子学

3.1 总体方案

3.2 GPD安装板、高压电源板

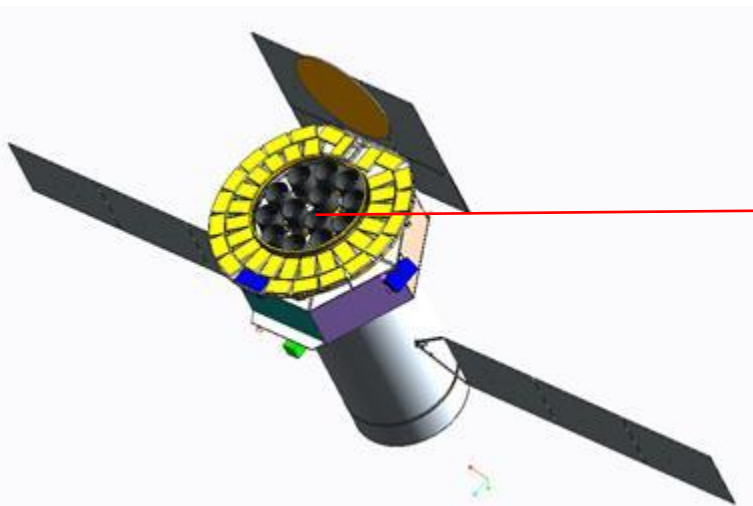
3.3 数采电路

3.4 热控板

3.5 逻辑重构

3.6 研制进展

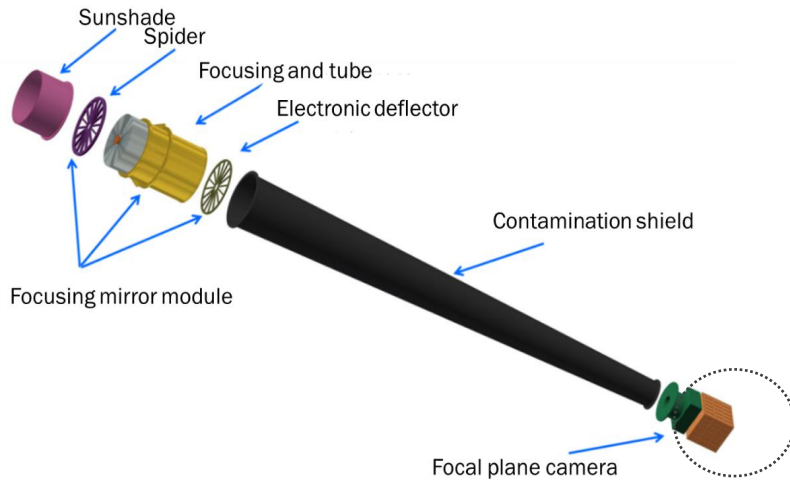
1.1 背景介绍 — eXTP与PFA



eXTP

增强型X射线时变与偏振探测
空间天文台

科学目标：一奇、二星、三极端

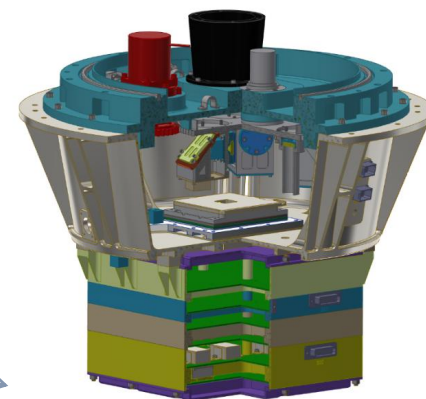


PFA

偏振测量X射线聚焦望远镜阵列

偏振、成像、时变、能谱测量

包括聚焦镜、焦平面探测器、电子学机箱、转轮、电控箱等



PFA焦平面相机

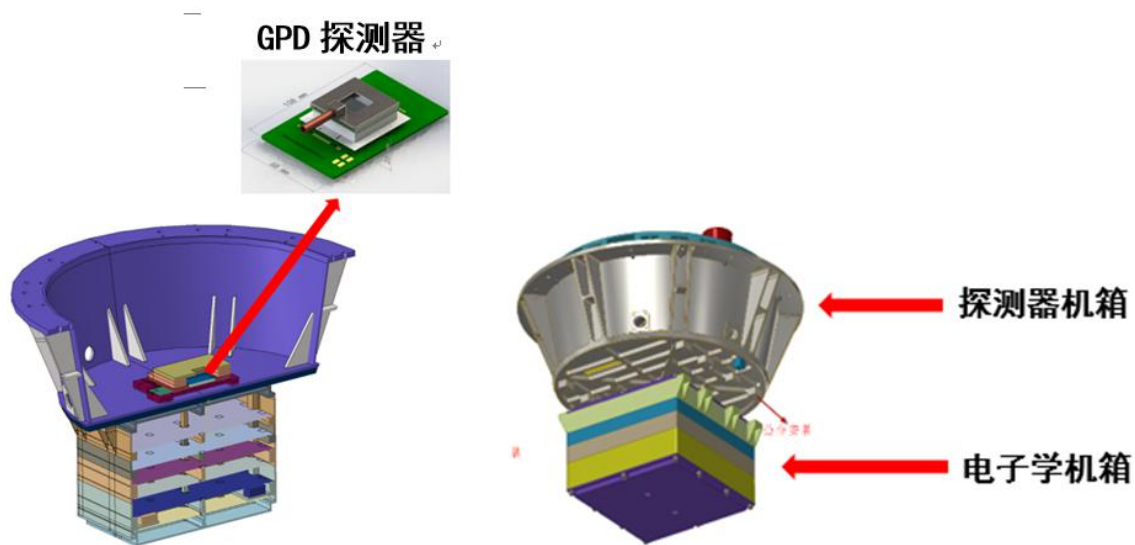
像素气体探测器GPD读出电子学及数据采集、供配电等电路

实现功能：GPD探测器偏压控制、探测器信号读出、科学数据与工程数据采集与处理、遥测信号数据采集与处理、焦平面相机的低压电源管理。

1.2 背景介绍 — PFA焦平面相机

PFA的主要功能是对2-8keV的X射线具有偏振测量能力、成像观测能力、时变测量能力和能谱测量能力。

PFA焦平面相机采用气体像素探测器GPD。

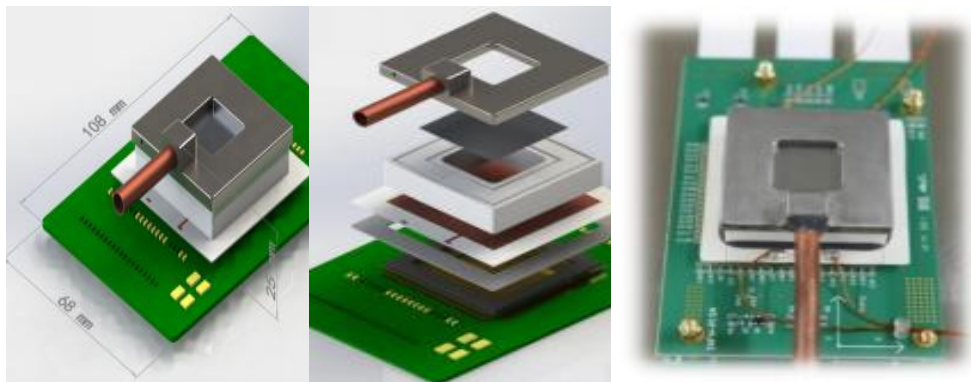


PFA焦平面相机单机结构示意图

PFA焦平面相机性能参数表

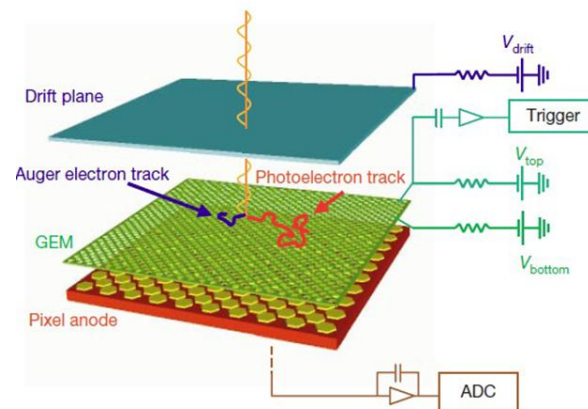
参数	指标要求
像素数	105k
事例处理能力 (4个单机)	$\geq 2500\text{cps}$
能量范围 (keV)	2-8
能量分辨 (FWHM)	25% @ 5.9keV
时间分辨 (μs)	≤ 10
死时间	$\leq 10\%$ @ 1 Crab

2 气体像素探测器GPD



GPD原理样机结构示意图（左、中）和实物照片（右）

- 结构从上而下分别是入射窗、陶瓷腔体、GEM膜和读出芯片。
- 工作气体是二甲醚。
- 铍窗厚度100 μm ，有效面积17mm X 17mm。
- GEM膜微孔直径50 μm ，间距100 μm 。
- ASIC具有105k像素，像素间距50 μm ，每个像素具有独立的电荷灵敏前放、成形和峰保。



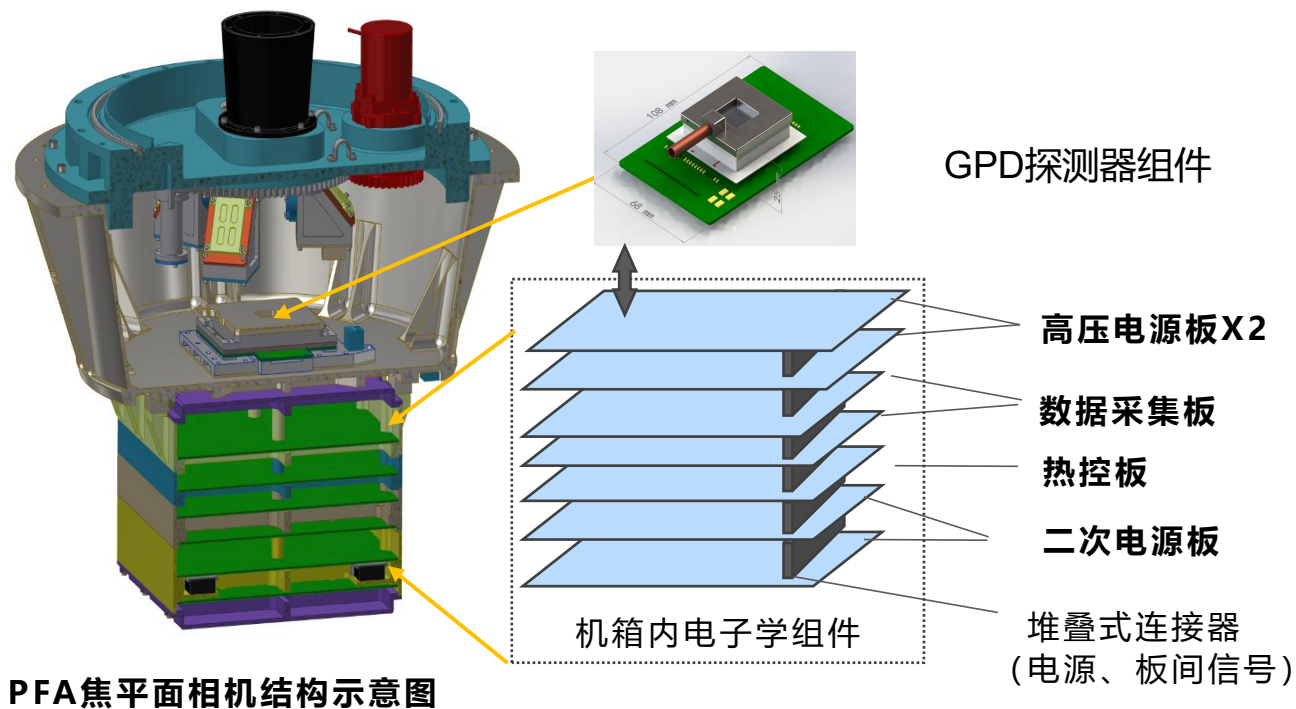
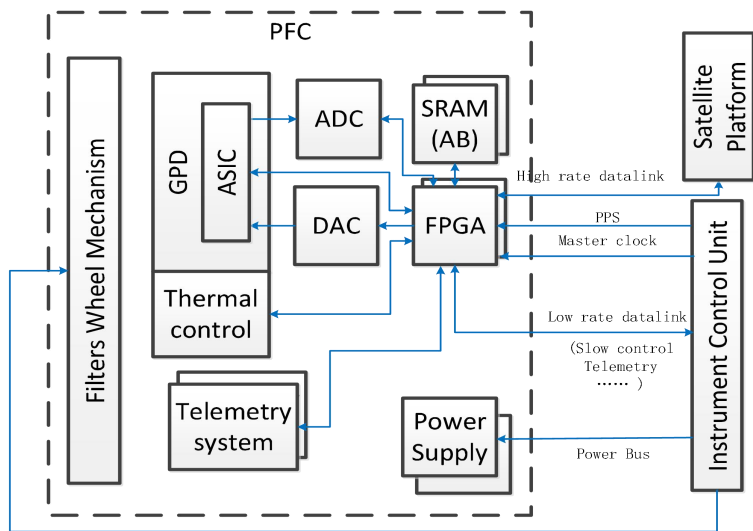
GPD偏振探测器原理示意图

3.1 PFA电子学-总体方案

PFA焦平面相机电子学：像素气体探测器GPD读出电子学及数据采集、供配电等电路。

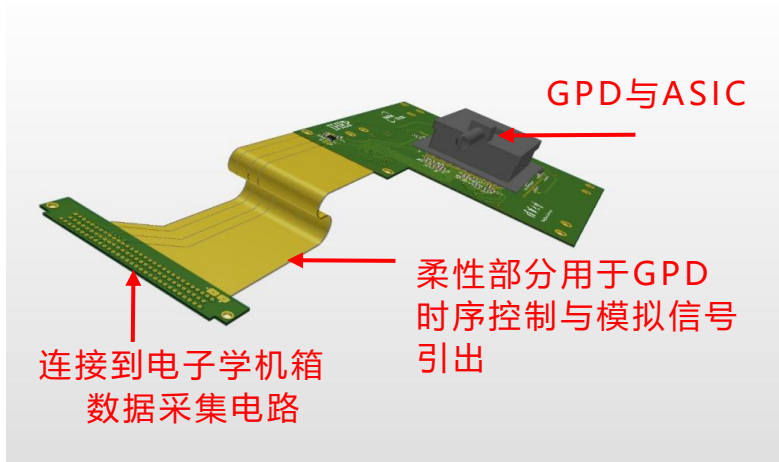
包含的组件如下

- GPD安装板；
- 高压电源板：产生GPD所需的高压电源；
- 数据采集板：GPD控制和信号读出、数据采集、数据通讯；
- 热控板：驱动加热片实现GPD温度控制；
- 二次电源板：产生机箱内各低压电源。



3.2 PFA电子学-GPD安装板、高压电压板

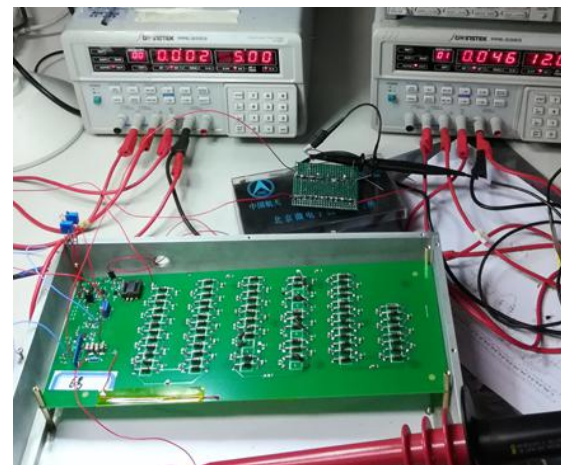
GPD安装板是一块刚柔结合PCB，如下图所示，中间部分是柔性PCB用于GPD时序控制与模拟信号引出。



GPD安装板

高压电源板输出高压0~3500V可调，纹波小于50mVpp，温漂小于30ppm。

输出三路高压连接到GPD的漂移电极、GEM上下两层电极

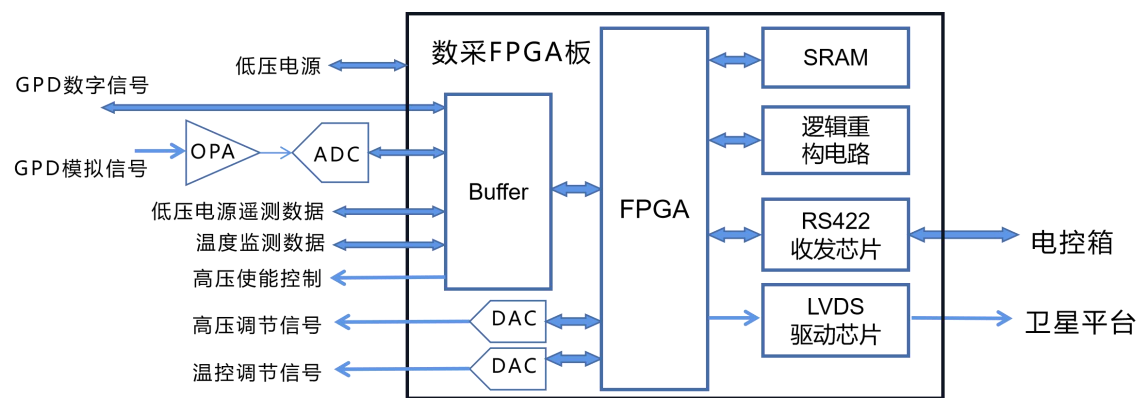


高压电源的原理样机

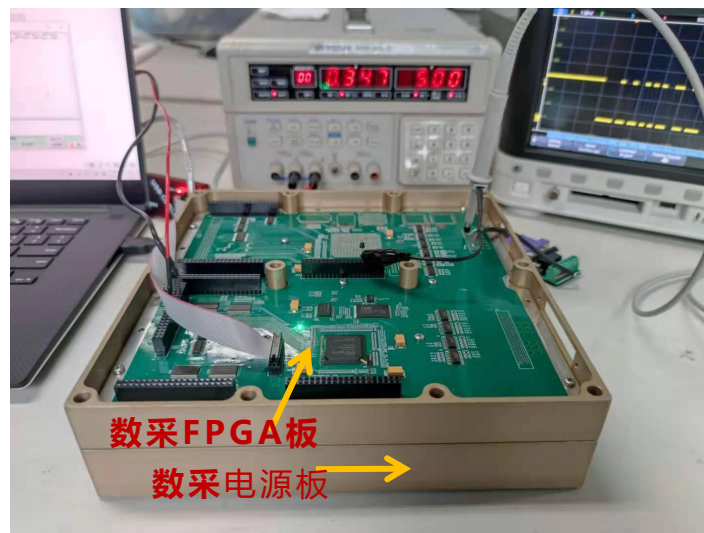
3.3 PFA电子学-数采电路

数据采集电路由数采FPGA板和数采电源板两块电路板组成，实现的功能是：

- 1) GPD ASIC参数配置、时序控制、触发响应、数据读出。
- 2) GPD高压电源控制；
- 3) GPD温度监控和热控算法时序；
- 4) 科学数据与工程数据采集、存储、打包、处理；
- 5) 遥测信号数据采集与处理；
- 6) 与卫星平台LVDS高速数据通讯（传输速率80Mbps）
- 7) 与电控箱RS422数据通讯（波特率115200bps）



PFA电子学工程样机数采电路设计方案



PFA电子学工程样机数采电路实验室测试

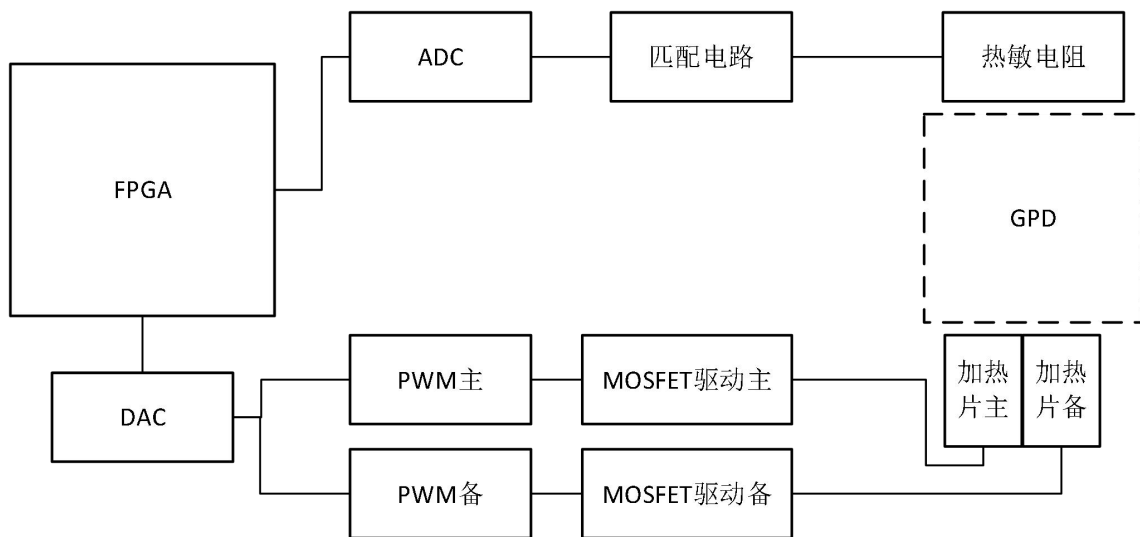
3.4 PFA电子学-热控板

PFA探测器机箱内部利用加热片，对GPD探测器进行主动温控。

要求将GPD工作温度稳定控制在范围20~25℃，稳定度优于±1℃。

主动热控电路由温度测量和温度控制两部分组成，其中测温电路由热敏电阻和放大器ADC组成，温度控制电路由DAC、PWM芯片、MOS管驱动电路和加热片构成。

温度控制算法采用FPGA实现。



PFA焦平面相机主动热控设计框图

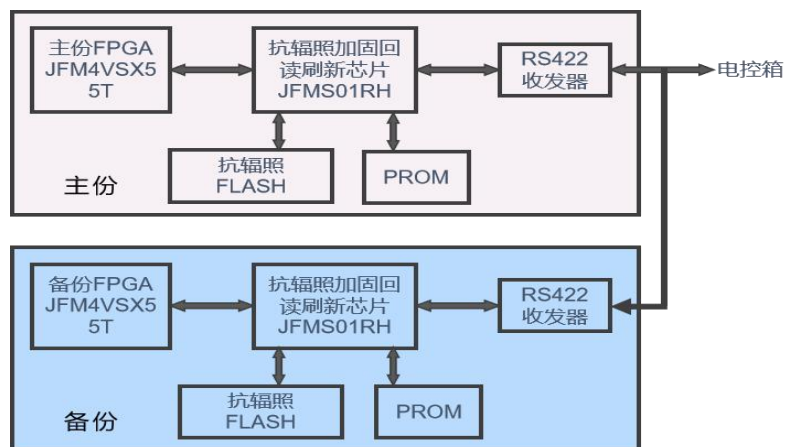
3.5 PFA电子学-逻辑重构方案

可靠性设计：

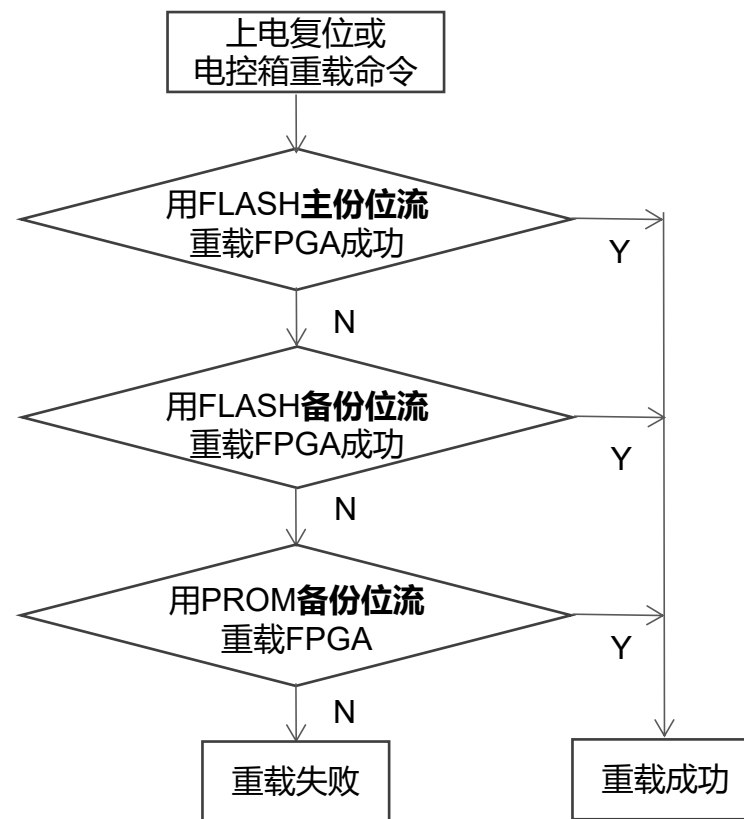
- 1) 硬件冷备份：高压电源、二次电源、数采FPGA、热控电路
- 2) 软件：逻辑交叉备份和在轨重构

FPGA逻辑在线重构方案：

- 采用复旦微电子的回读刷新芯片和FLASH；
- 1片64Mb的FLASH存放2份位流；
- 电控箱发送指令和数据给回读刷新芯片对FLASH进行在线重构。



主备份FPGA逻辑在线重构方案



FPGA逻辑重载流程图

3.6 PFA电子学-研制进展

1. PFA焦平面相机处于工程样机研制阶段。
2. 各电子学组件设计加工已完成，经过实验室电子学单板测试，功能和性能指标符合使用要求。
 - a) 高压电源板输出高压0~3500V可调，纹波小于50mVpp，温漂小于30ppm；
 - b) 数采FPGA板和数采电源板实现GPD ASIC的时序控制和信号读出，与电控箱指令接口和与卫星平台的数据接口正常通信。
 - c) 二次电源板产生的低压电源负载能力和纹波都能满足其他电子学模块的需求。
3. 目前正在集成联调和射线测试。

谢谢!