

中子探测对于电子学读出芯片的需求

孙志嘉

CSNS, IHEP, CAS

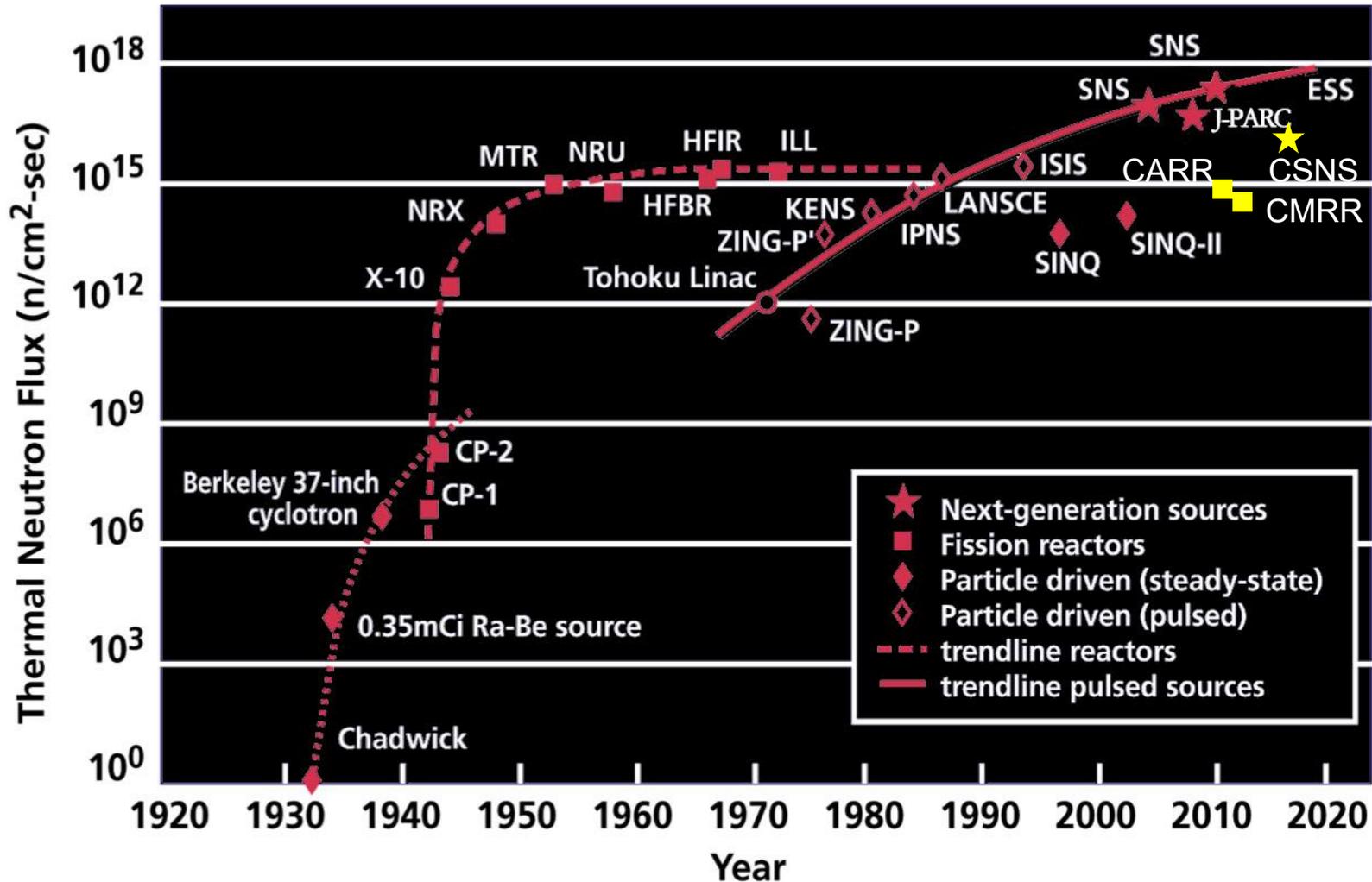
(中国散裂中子源, 高能物理研究所)



报告提纲

- 中子散裂中子源的未来发展
- CSNS探测器团队未来的规划
 - 中子专用的GEM探测器
 - 基于富硼材料的大面积高效率中子探测器
 - 能量选择性中子成像探测器

我国中子源的国际地位



中子散射的优势和挑战

- **优势**
 - ✓ 高能量分辨与全k空间
 - ✓ 材料与关键部件内部
 - ✓ 无损
 - ✓ 原位多场加载（温度、力、磁、电等）
- **挑战**
 - **低通量**
 - 空间分辨较低
 - 快速的实时动态测量较困难

提高有效中子通量的技术途径

— 中子产生与传输

- 提高中子源未扰中子通量
 - 反应堆：已到上限
 - 散裂源：正在发展中
- 提高中子传输效率
 - 中子聚焦：超镜导管，**KB**镜，磁聚焦，中子透镜……

— 中子探测

- 提高探测器空间分辨能力
- 提高探测器的探测效率
- 提高探测的事例率
- 提高中子探测器覆盖范围



我国新建中子源

原子能研究院先进研究堆CARR

未扰中子通量 8×10^{14}

2017年 验收

工程物理研究院绵阳研究堆CMRR

未扰中子通量 2.4×10^{14}

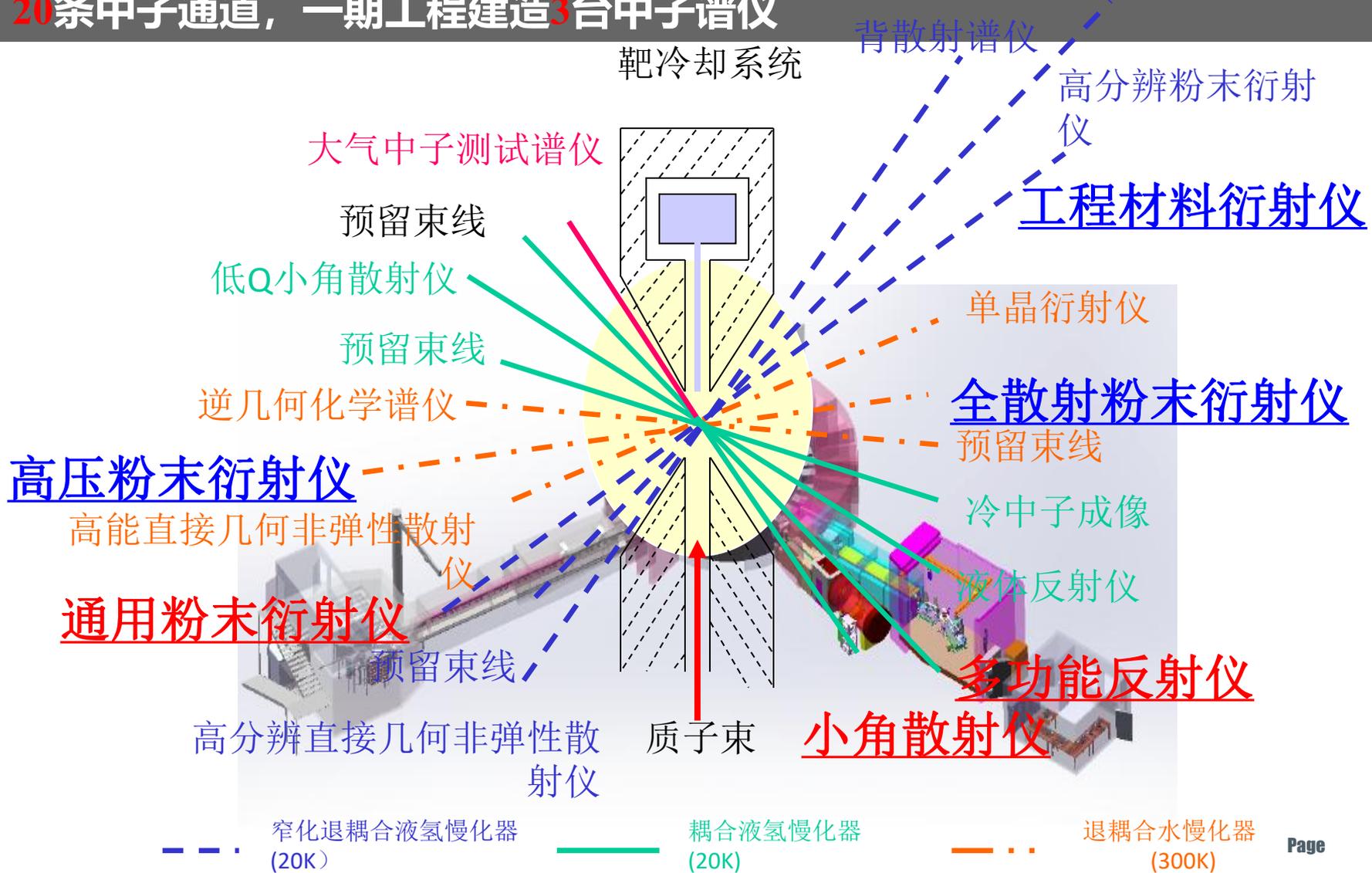
2012国家验收

中科院中国散裂中子源CSNS

脉冲中子通量 $\sim 2.4 \times 10^{16}$ (100 kW)

2018国家验收

20条中子通道，一期工程建造3台中子谱仪



探测器团队未来的发展规划

紧密围绕我国中子谱仪对于中子探测器的需求，基于国际前沿的中子探测技术，以提高中子谱仪核心竞争力为目标，实现关键技术全部国产化。

➤ 大面积、高探测效率

通用粉末衍射仪、全散粉末衍射仪、工程材料衍射仪、高分辨粉末衍射仪、高压粉末衍射仪、非弹性散射仪

➤ 闪烁体中子探测器（面积 $\sim 10\text{m}^2$ ，探测效率 $\sim 40\%$ @ 2\AA ，像素 $\sim 4\text{mm}\times 4\text{mm}$ ）

➤ 涂硼中子探测器（面积 $\sim 10\text{m}^2$ ，探测效率 $\sim 50\%$ @ 0.5\AA ，像素 $\sim 5\text{mm}\times 20\text{mm}$ ）

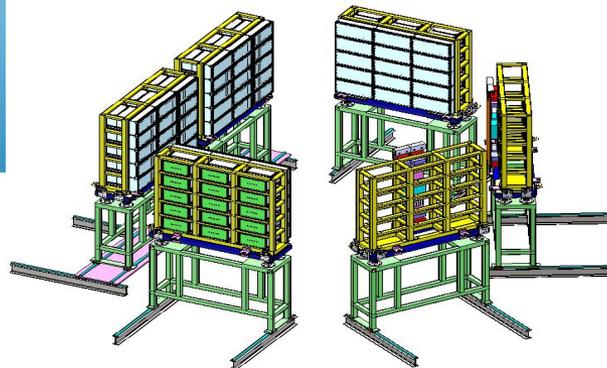
➤ 基于TOF的能量选择型中子成像探测器

中子成像谱仪

➤ 基于GOS的高分辨中子成像探测器（像素 $\sim 20\mu\text{m}\times 20\mu\text{m}$ ，时间分辨 $\sim 1\mu\text{s}$ ）

➤ 基于MCP的高分辨中子成像探测器（像素 $\sim 50\mu\text{m}\times 50\mu\text{m}$ ，时间分辨 $\sim 1\mu\text{s}$ ）

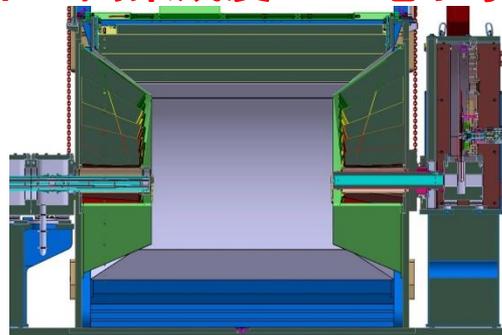
大面积、高探测效率中子探测器



GPPD @CSNS

➤ 闪烁体中子探测器

- 基础：已经完成第一代探测器研发（CSNS），性能达到国际先进水平
- 目标：在此基础上结合谱仪的需求，进一步提高空间分辨能力，提高有效探测面积，减小探测器体积
- 待攻克的核心技术：**Si-PMT技术、高集成度ASCI电子学、光纤阵列和中子闪烁体的国产化、分布式测量技术**



POWTEX @FRM II

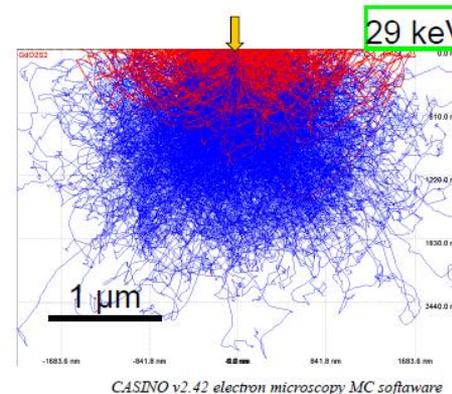
➤ 涂硼中子探测器

- 基础：国际上的热门研究领域（GSI），国内多家单位进行了关键性能研究
- 目标：制作一套基于涂硼的探测器样机，为大面积应用到谱仪上做技术储备
- 待攻克的核心技术：**大面积和大规模涂硼技术、高集成度ASCI电子学、多层掠入射探测器技术、分布式测量技术**

基于TOF的能量选择型中子成像探测器

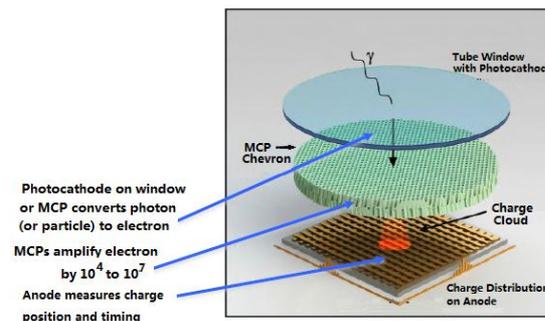
➤ 基于GOS的高分辨中子成像探测器

- 基础：国际上的前沿技术（PSI），国内有中子探测材料研制经验
- 目标：实现超高分辨的中子成像， $< 20 \mu\text{m}$
- 待攻克的核心技术：**GOS闪烁体研制、基于CCD+MCP的成像探测器技术**



➤ 基于MCP的高分辨中子成像探测器

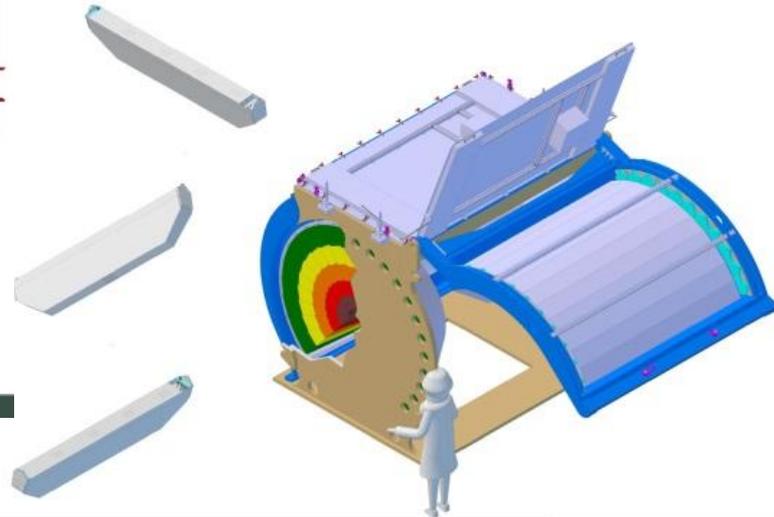
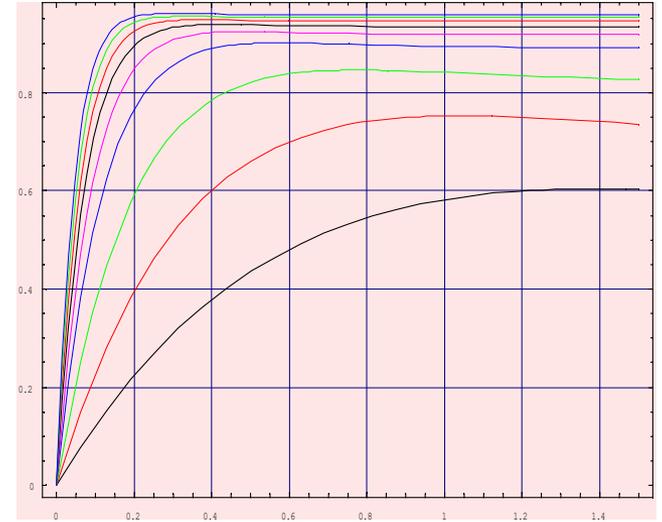
- 基础：国际上的前沿技术（伯克利），国内有MCP的制作经验



- 目标：实现基于TOF的能量选择型中子成像，像素 $\sim 50 \mu\text{m}$ ，时间分辨 $\sim 1 \mu\text{s}$
- 待攻克的核心技术：**中子-MCP研制、MCP封装、高性能电子学**

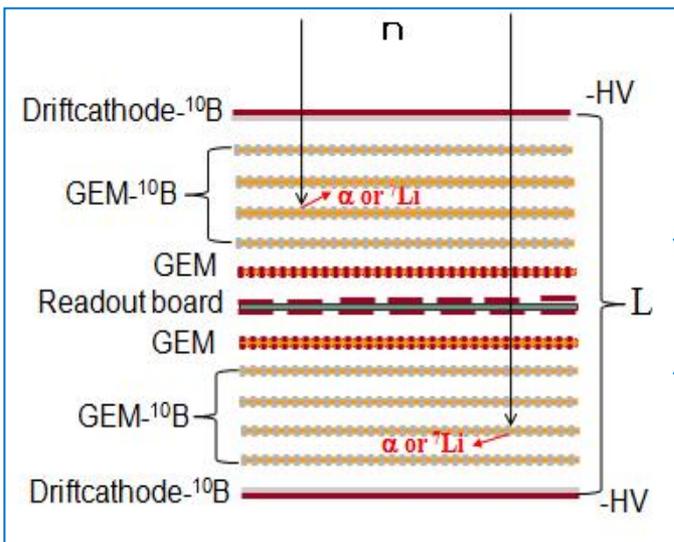
在大面积高探测效率方面，替代 ^3He 的最佳候选者-掠入射富硼探测器

- 探测效率: $\sim 50\% @ 0.5\text{\AA}$



中子专用的GEM探测器 三大技术难点攻关

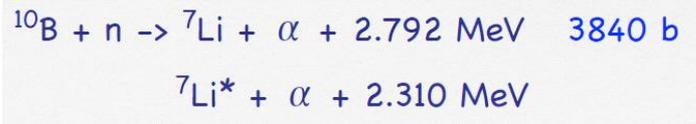
探测器物理设计与M.C.模拟



大面积制作陶瓷GEM膜(IHEP发明)

大面积磁控溅射镀膜

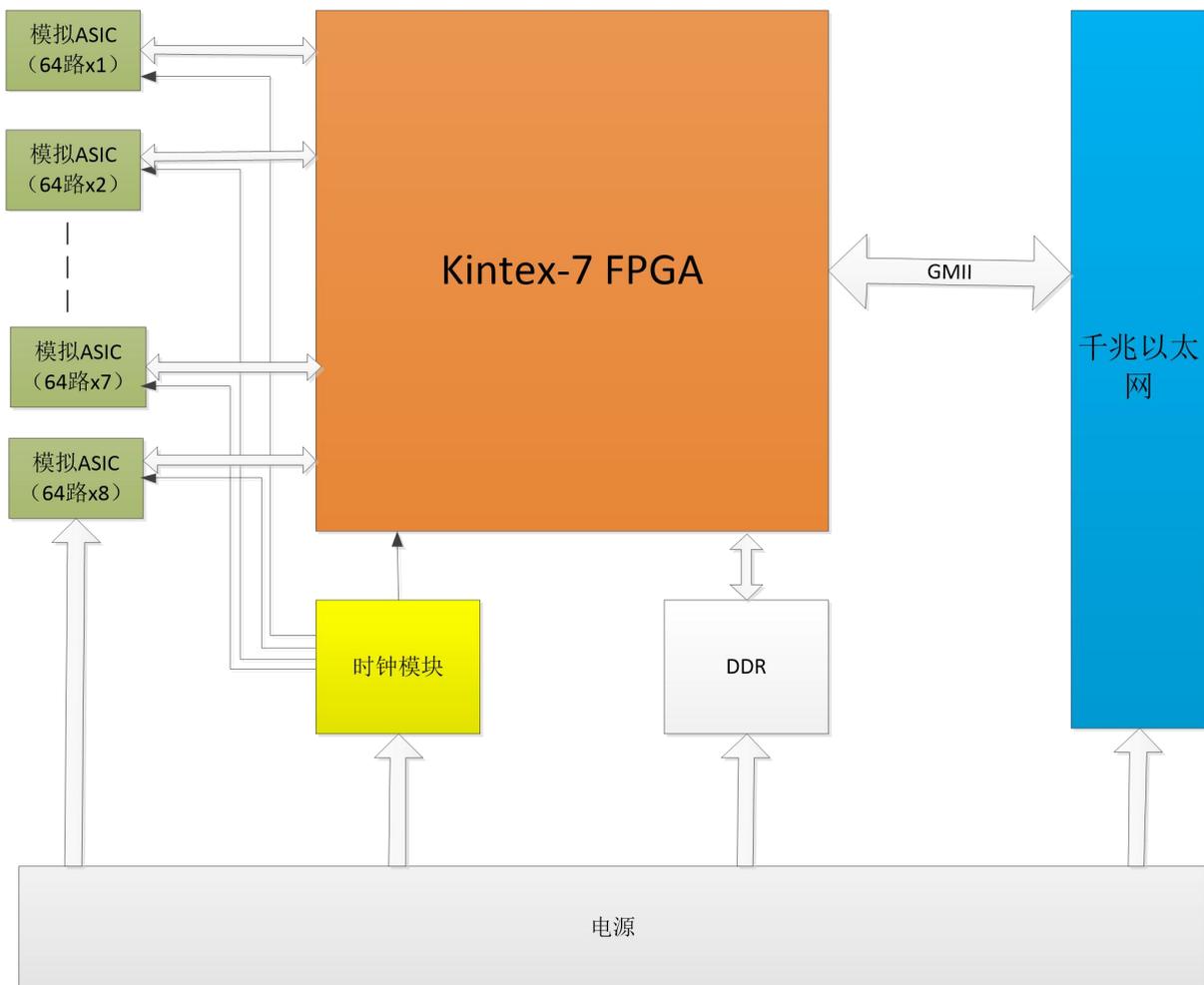
系统集成



专用ASIC芯片和大规模FPGA数字电路

探测器读出电子学设计

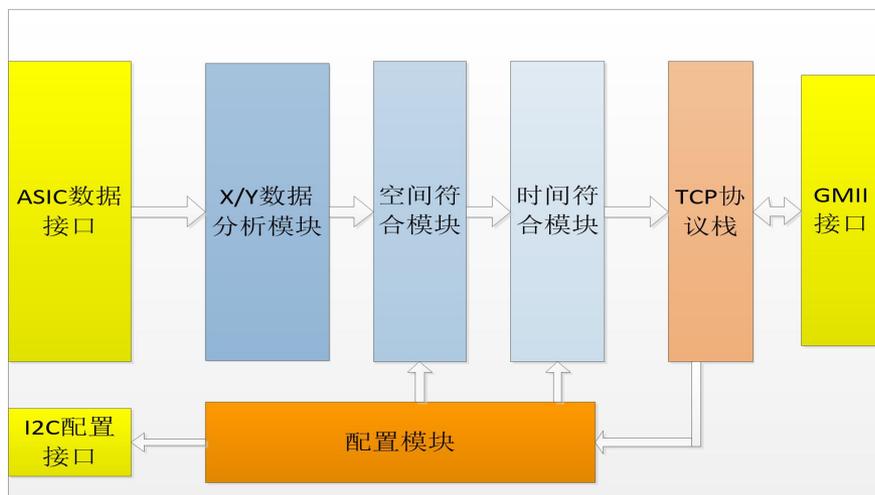
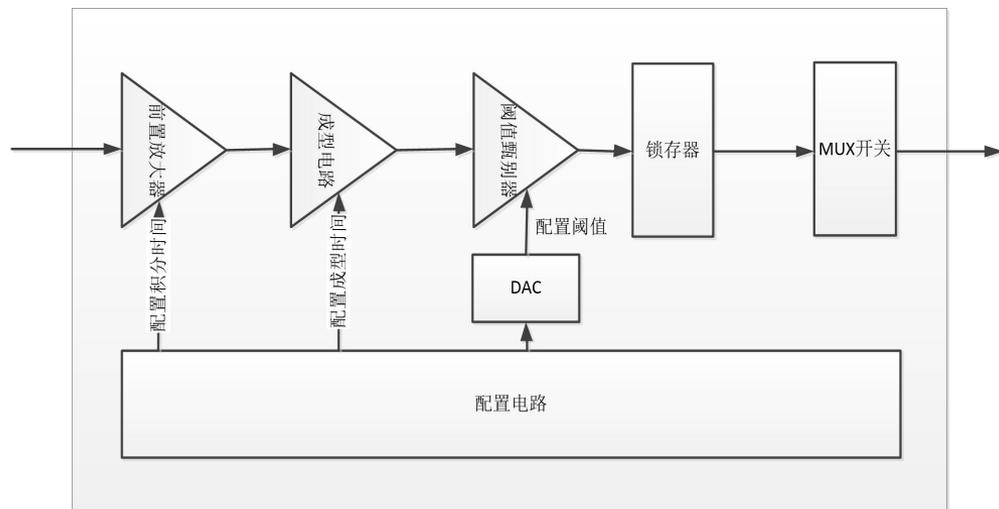
读出电子学框图：



设计要求：

- 通道数： 512 路， 8块 64 路 ASIC 芯片
- 前端**ASIC**芯片： 对探测器输出信号进行放大，成型，甄别，通过LVDS与FPGA进行连接
- 数字电子学： 配置ASIC芯片，接收ASIC芯片输出信号，对输出信号进行逻辑处理，发送数据
- 数据传输： 1000Mbps 网络

前端ASIC芯片初步设计



设计要求:

- 通道数: 每芯片64 路
- 功能: 对信号进行放大, 成型, 甄别, LVDS输出信号和控制
- 阈值甄别: 8 位 DAC设置阈值
- MUX开关: 多路选通, 对数据进行读出
- 配置电路: 配置各个模块, 外部接口为I²C接口。

敬请批评指正!



THANK YOU!