

课题3：成像型强子量能器技术验证 实施方案汇报

项目负责人：刘建北（中国科技大学）

报告人：俞伯祥（高能所）

核探测与核电子学国家重点实验室

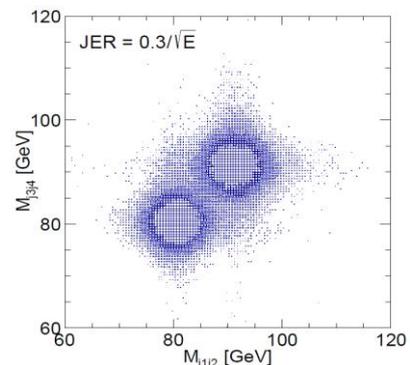
2018年11月28日

报告提纲

- 前言
- 研究内容和目标
- 研究方法和技术路线
- 任务分解
- 考核指标
- 进度安排与年度计划
- 课题参与单位和人员
- 组织实施, 保障措施和风险分析

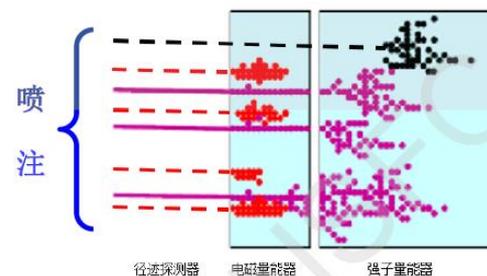
前言

- 下一代高能环形正负电子对撞机实验对探测器性能提出了极大挑战
 - 精确测量强子喷注： $\sim 30\%/\sqrt{E}$
- 通过粒子流事例重建有望满足强子喷注精确测量的要求，而成像型强子量能器则是实现这一重建的关键探测器。
- 本课题研究采用闪烁体+SiPM灵敏层的成像型强子量能器关键技术，研制一台大规模高颗粒度强子量能器样机，通过束流测试进行技术验证。



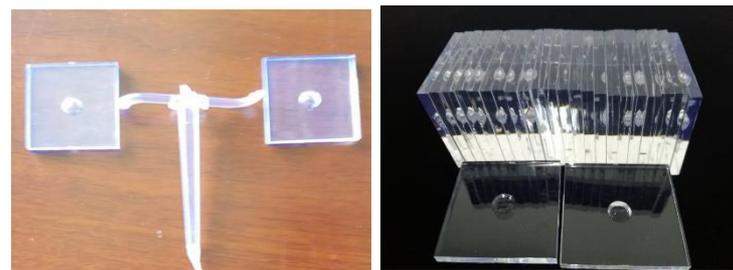
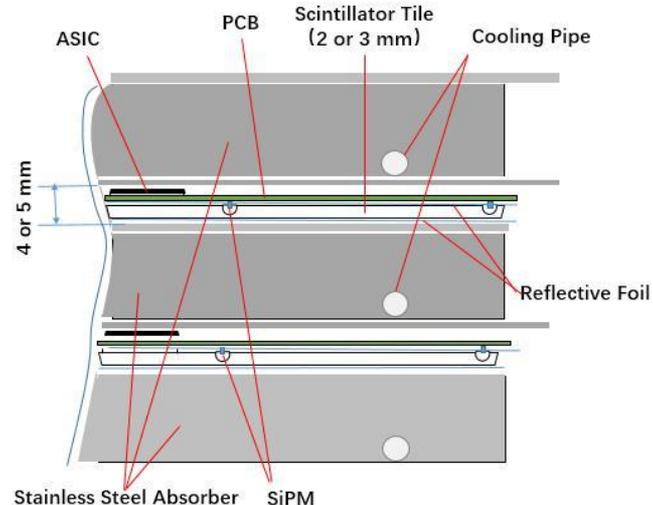
在W/Z的强子衰变末态分辨二者

$$E_{\text{喷注}} = E_{\text{带电强子}} + E_{\text{光子}} + E_{\text{中性强子}}$$

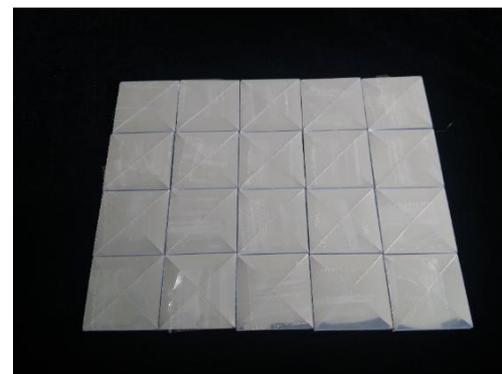


研究内容 (I)

- 量能器物理设计
 - 通过模拟对量能器的关键物理参数进行优化，包括吸收体的总厚度、取样层数、灵敏层厚度、灵敏单元颗粒度等。
- 灵敏探测器的研制
 - 闪烁体+SiPM灵敏单元的设计和优化
 - 批量生产：
 - 注塑工艺、自动包装、自动测试、质量控制
 - 灵敏层模块化组装
 - 可扩展的SiPM监测和刻度系统

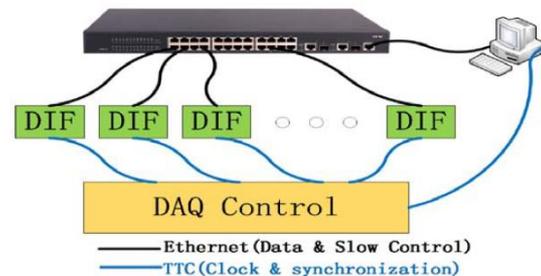
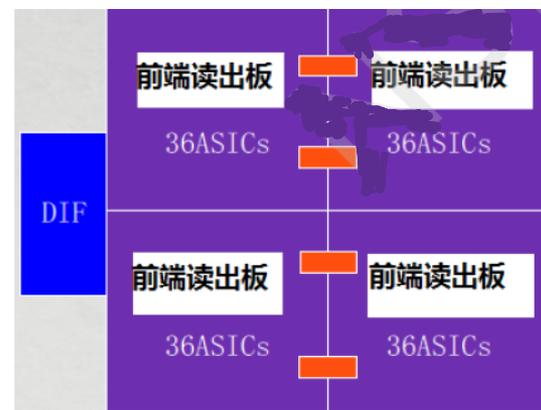


这部分已经完成



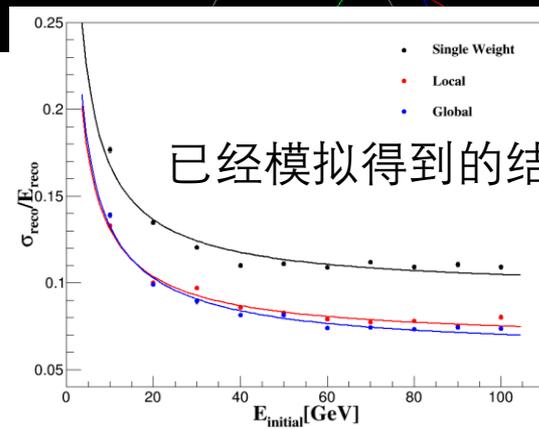
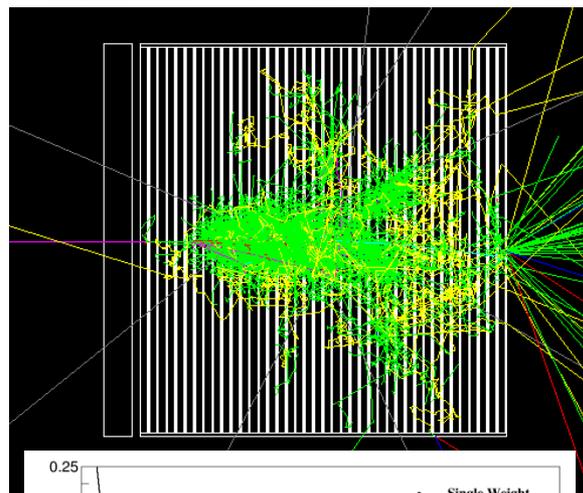
研究内容（II）

- 读出电子学和数据获取系统
 - 高灵敏度、大动态范围、高集成度、低功耗、模块化、可扩展。
 - 多通道高密度的嵌入式前端读出，前端读出与灵敏层的一体化，前端功耗和散热。SiPM温度反馈补偿。
 - 数据汇聚和控制系统
- 机械设计和制作
 - 高平整度的吸收层、灵敏层支撑、屏蔽外壳和框架结构。
 - 样机机械结构、测试用的支撑结构和移动平台。



研究内容 (III)

- 量能器集成和测试：
 - 研究灵敏层可拆卸的量能器结构和安装技术
 - 可扩展的电子学与探测器的集成方案
 - 建造一台大型成像型强子量能器样机，利用宇宙线和高能粒子束进行性能测试。
- 数据分析和性能研究：
 - 量能器响应的均匀性，对高能强子的能量分辨和线性。
 - 高能强子簇射物理和粒子流算法
 - 量能器技术方案验证



研究目标

- 掌握闪烁体耦合SiPM的成像型强子量能器方案的关键技术，包括：
 - 灵敏单元的批量制作和测试
 - 灵敏层模块化组装
 - 嵌入式前端读出电子学
 - SiPM监测和刻度
 - 量能器集成等各种技术
 - 建造量能器原型机，验证闪烁体耦合SiPM技术方案。

研究方法和技术路线（I）

- 物理设计

- 多参数优化：通过模拟量能器整体性能与关键参数的依赖关系对量能器样机的基本参数进行选择 and 优化。

- 探测器

- 模拟结合单元试制和测试，对灵敏单元的结构、参数和材料进行选择 and 优化。
- 采用高效且一致性好的方式制作和测试灵敏单元：注塑工艺、全自动包装、自动批量测试系统。
- 采用模块化灵敏层制作和组装工艺。
- 研究光源驱动和分配，扩展到多通道SiPM的监测和刻度。

采用闪烁体自动包装装置

均匀性好

采用嵌入式的SiPM和塑闪

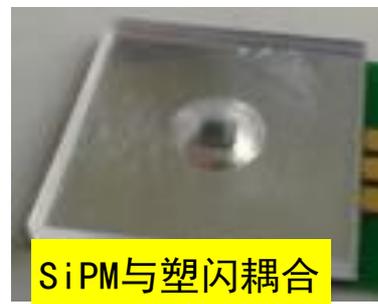
高耦合效率
高分辨

采用嵌入式前端读出设计

结构紧凑

研制基于LED的监测系统

线性度高



研究方法和技术路线（II）

• 电子学

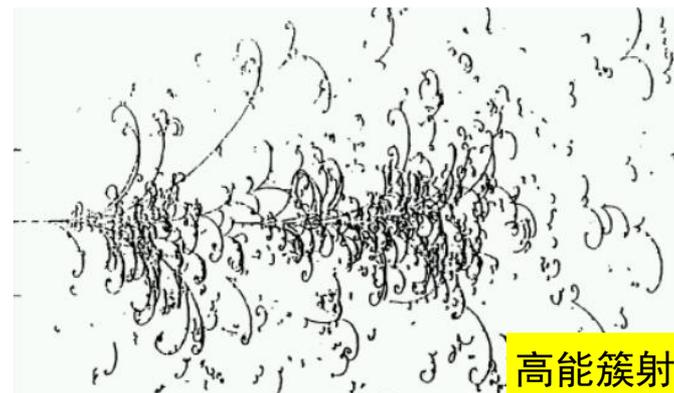
- 模拟读出板温度场分布，进行热设计。
- 采用合适的ASIC 芯片读出SiPM，实现一体化设计。
- 采用xTCA 平台完成电子学数据读出、预处理和汇总，通过PCI-E 平台完成数据到计算机的传输。



前端读出板与灵敏单元集成

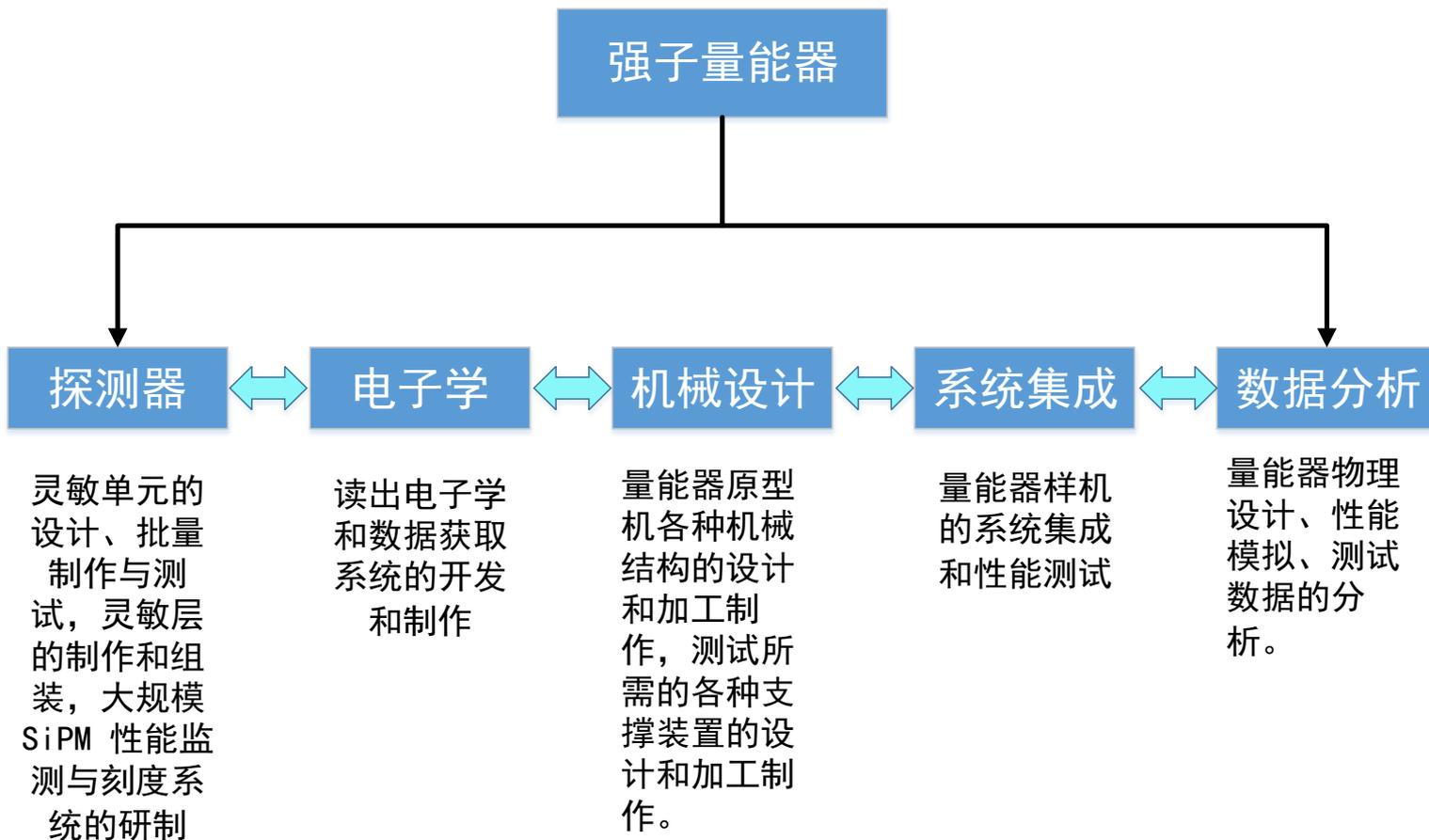
• 性能研究

- 在束流测试中尝试不同粒子束，进行各种粒子参数的扫描，包括粒子能量、入射位置和角度等
- 簇射过程：数据与模拟对比
- 通过重叠事例仿真喷注，研究粒子流算法。



高能簇射

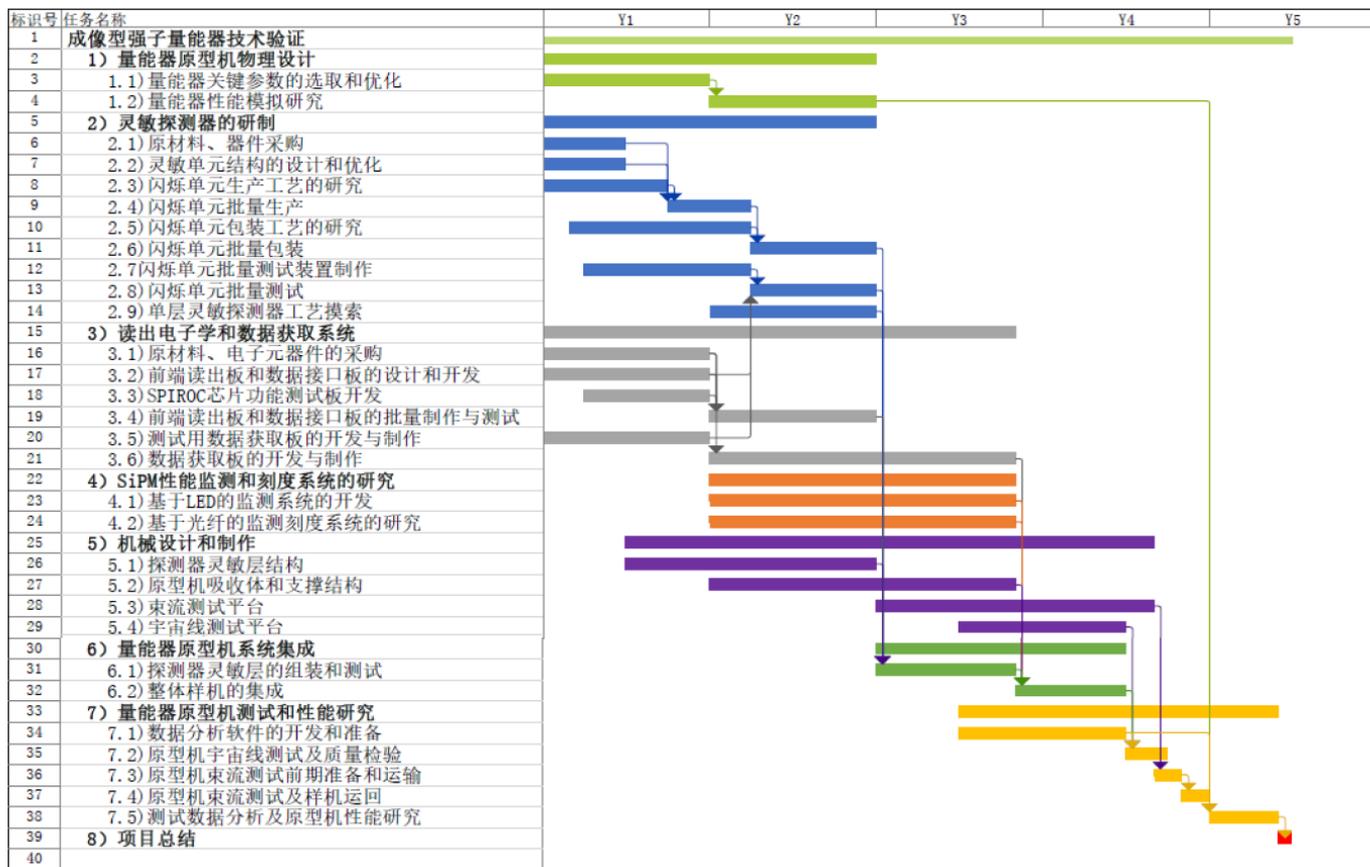
任务分解



考核指标

- 量能器样机性能指标
 - 能量线性： 3% (10 GeV < E < 80 GeV)
 - 能量分辨： $60\% / (\sqrt{E/\text{GeV}}) \oplus 3\%$ (10 GeV < E < 80 GeV)
- 考核方式及评价手段
 - 利用高能粒子束对量能器样机进行测试，离线分析测试数据获得性能指标。
 - 同行专家评审测试报告。

进度安排



进度安排

❖ 物理模拟与实验研究相结合（2018.5-2023.4）

➤ 两个主要节点

- 中期检查（2020.4）
- 终期报告（2023.4）

第一年

完成灵敏单元、读出电子学芯片的设计工作。

第二年

完成量能器原型机物理设计，完成中期技术报告。

第三年

完成灵敏层组装。并完成强子量能器原型机设计报告、课题年度技术进展报告。

第四年

完成40层原型机的建造，及宇宙线性能测试。

第五年

完成原型机的束流测试和性能分析。完成高能环形正负电子对撞机探测器原型机测试报告、课题最终科技报告。

年度计划：2018.5-2019.4

- 任务

- 开展量能器原型机的物理设计，优化量能器关键设计参数。采购制作灵敏探测器的原材料和器件，设计并优化灵敏单元结构，研究闪烁单元批量生产工艺并开始批量生产，研制闪烁单元自动包装设备，研制闪烁单元批量测试装置。设计灵敏层机械结构。采购电子学元器件，设计前端读出电子学。

- 考核指标

- 完成灵敏单元批量制作和测试工艺研究；完成读出电子学的设计。

- 成果形式

- 课题年度技术进展报告

年度计划：2019.5-2020.4

- 任务

- 模拟量能器原型机整机性能，开发建立相关软件框架。进行塑闪单元的生产、包装及测试，研究单层灵敏探测器的组装工艺。开发读出电子学，设计数据获取系统。设计探测器灵敏层结构，设计原型机吸收体和支撑结构。设计SiPM 监测刻度系统。

- 考核指标

- 完成量能器原型机物理设计，模拟得到原型机能量线性达到3%，能量分辨达到 $60\% / (E/\text{GeV}) \oplus 3\%$ ($10\text{GeV} < E < 80\text{GeV}$)；完成灵敏层结构设计和组装工艺研究；完成数据获取系统的设计。

- 成果形式

- 课题中期技术进展报告

年度计划：2020.5-2021.4

- 任务

- 批量制作读出电子学，开发数据获取系统。开发SiPM 监测刻度系统。加工制作灵敏层结构，组装和测试灵敏层。加工制作原型机吸收体和支撑结构。研制束流测试平台和宇宙线测试平台。开发数据分析软件。

- 考核指标

- 完成灵敏层的组装；完成SiPM监测系统的研制；完成原型机机械结构的设计与制作；完成读出电子学和数据获取系统的开发制作。

- 成果形式

- 高能环形正负电子对撞机探测器原型机设计报告、课题年度技术进展报告

年度计划：2021.5-2022.4

- 任务

- 集成量能器原型机。制作束流测试平台和宇宙线测试平台。进行原型机的宇宙线测试，完成原型机的质量检测 and 修补。远程运输原型机和相关设备装置，进行原型机的束流测试。

- 考核指标

- 完成原型机的建造；完成测试平台的建造。

- 成果形式

- 量能器原型机实物、课题年度技术进展报告

年度计划：2022.5-2023.4

- 任务

- 分析束流测试数据，研究量能器原型机的性能，研究高能强子簇射过程和粒子流算法。进行课题总结，撰写相关报告。

- 考核指标

- 完成原型机的束流测试和性能分析，强子能量测量线性达到3%，能量分辨达到 $60\% / (E/\text{GeV}) \oplus 3\%$ ($10\text{GeV} < E < 80 \text{ GeV}$)。

- 成果形式

- 实验装置/系统（量能器原型机），高能环形正负电子对撞机探测器原型机测试报告、课题最终科技报告，期刊论文。

课题参与单位和人员

- 牵头单位：中国科学技术大学，课题负责人：刘建北
- 参与单位：中国科学院高能物理研究所、上海交通大学
- 参与人员：11人
 - 中科大：5人，其中：正高1人、副高2人、中级1人、其他1人
 - 高能所：5人，其中：副高5人
 - 上交大：1人，其中：正高1人

组织实施

- 本课题共有三家参加单位，研究内容总体包括关键技术研究和大尺寸原型机的建造和测试三部分。
- 对于关键技术研究部分，根据各单位的已有基础和条件以及专长进行合理分工，最大程度发挥各单位的研究力量，保证各关键技术研究的按时完成。
- 对于大尺寸原型机的建造和测试，则在攻克了所有关键技术的基础上，集中所有人力，由三家单位按合适比例共同承担。

具体分工

- 中科大
 - 灵敏探测器监测与刻度，电子学读出和数据获取，原型机机械设计和加工，20%的批量测试和组装工作，原型机集成，原型机宇宙线测试装置，原型机运输，共同参与原型机测试和数据分析；
- 高能所
 - 灵敏单元的设计和优化，塑闪单元生产和包装，基本模块组装工艺，40%的批量测试和组装工作，原型机束流测试平台，共同参与原型机测试和数据分析；
- 上交大
 - 原型机物理设计和优化，批量测试装置，40%的批量测试和组装工作，共同参与原型机测试和数据分析工作。

管理方式

- 实行课题负责人全面负责制。课题负责人组织和协调课题各项研究工作的开展和实施，指定各方面的具体负责人。在课题负责人的领导下开展各项研究工作。每个参与单位指定一名联系人，协调参与单位与课题相关的本地事务和工作。通过这一机制能及时发现和解决课题实施过程中存在的各种问题，确保课题各项工作的顺利实施。
- 将组织课题组例会，进行课题内部的工作交流，讨论和解决各种技术问题。每年召开二次课题组研讨会，针对课题实施过程中存在的重要问题进行专题讨论。每年召开一次年终总结会，检查课题进度，安排一下年度的具体工作。同时还将根据需要，召开不定期课题组会议，解决课题实施过程中出现的瓶颈问题。

保障措施

- 课题参加单位及各单位所在的国家 and 部级实验室将在研究人员、支撑人员和研究生等人力资源、实验室场地和相关条件上给予支持，以保障项目顺利实施，达到目标
- 中科大在粒子探测器和核电子学领域有着几十年的研究基础和经验，参加了多个大型粒子物理和核物理实验，在探测器硬件研发和建造上取得了大量成果。高能所是以粒子物理研究为主的科研单位，在粒子探测器和核电子学领域有着坚实的研究基础和丰富经验，承担了北京谱仪等多个大科学装置的建造，探测器指标达到先进水平。

保障措施（II）

- 科大和高能所依托“核探测与核电子学国家重点实验室”，建有恒温恒湿洁净间、高精度探测器综合测试平台、先进核电子学测试和组装平台等，为本课题研究工作提供了优质的硬件设施基础。核探测与核电子学国家重点实验室还具有一支实力雄厚的探测器与电子学研究团队，为开展课题研究提供了有力保障。
- 上海交通大学粒子物理和核物理研究所，拥有上海市粒子物理和宇宙学重点实验室，作为重要成员参与了多个高能物理大型实验和下一代加速器实验技术预研，积累了比较丰富的物理数据分析和探测器研发经验。

风险分析

- ✓ 闪烁单元制作过程延期
 - ➔ 采用自动包装方式，尽可能提高包装效率。
- ✓ 量能器样机运输过程中受到损坏
 - ➔ 对易损灵敏探测器件，设计专门的运输包装箱进行保护。
- ✓ 在测试阶段无高能粒子束线运行
 - ➔ 与欧洲核子中心和美国费米国家实验室保持紧密联系，密切关注束流线的安排。

但是显然，这些风险并不涉及研究的核心技术问题，原理样机建造和验证是未来探测器大规模应用的必经之路，没有真正的实践就不可能发现其中可能的难题和风险。

谢谢!