

课题编号：2023YFA1605903

密 级：公开

国家重点研发计划 课题任务书

课题名称： ATLAS 实验缪子探测器升级

所属项目： ATLAS 探测器升级

所属专项： 大科学装置前沿研究

项目牵头承担单位： 中国科学院高能物理研究所

课题承担单位： 中国科学技术大学

课题负责人： 孙勇杰

执行期限： 2023 年 12 月 至 2028 年 11 月

中华人民共和国科学技术部制

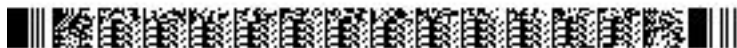
2023 年 12 月 18 日

0003YF 2023YFA1605903 2023-12-18 10:56:12

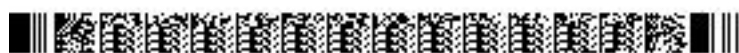


课题基本信息表

课题名称	ATLAS 实验缪子探测器升级					
课题编号	2023YFA1605903					
所属项目	ATLAS 探测器升级					
所属专项	大科学装置前沿研究					
密级	<input checked="" type="checkbox"/> 公开 <input type="checkbox"/> 秘密 <input type="checkbox"/> 机密	单位总数	2			
课题类型	<input checked="" type="checkbox"/> 基础前沿 <input type="checkbox"/> 重大共性关键技术 <input type="checkbox"/> 应用示范研究 <input type="checkbox"/> 其他					
课题活动类型	<input checked="" type="checkbox"/> 基础前沿 <input type="checkbox"/> 应用研究 <input type="checkbox"/> 试验发展					
课题研究所属学科	物理学 高能物理学					
课题成果应用的主要国民经济行业	科学研究和技术服务业 研究和试验发展 自然科学研究和试验发展					
课题的社会经济目标	非定向研究 自然科学领域的非定向研究					
经费预算	总需求 465.00 万元，其中中央财政专项资金需求 465.00 万元					
课题周期节点	起始时间	2023 年 12 月	结束时间	2028 年 11 月		
	实施周期	共 60 个月	预计中期时间点	2026 年 01 月		
课题承担单位	单位名称	中国科学技术大学		单位法定代表人姓名	包信和	
	单位性质	大专院校		组织机构代码	12100000485001086E	
	单位主管部门	中科院		隶属关系	中央	
	单位所属地区	安徽省		地市（市、自治州、盟）	合肥市 包河区	
	通信地址	安徽省合肥市金寨路 96 号		邮政编码	230026	
	单位开户名称	中国科学技术大学				
	开户银行（全称）	中国银行股份有限公司合肥蜀山支行		汇入地点	安徽省 合肥市	



	银行账号	184203468850		银行机构代码	104361003246	
课题负责人	姓名	孙勇杰	性别	<input checked="" type="checkbox"/> 男 <input type="checkbox"/> 女	出生日期	1976-06-16
	证件类型	身份证	证件号码	370622197606160014		
	所在单位	中国科学技术大学				
	最高学位	<input checked="" type="checkbox"/> 博士 <input type="checkbox"/> 硕士 <input type="checkbox"/> 学士 <input type="checkbox"/> 其他				
	职称	<input type="checkbox"/> 正高级 <input checked="" type="checkbox"/> 副高级 <input type="checkbox"/> 中级 <input type="checkbox"/> 初级 <input type="checkbox"/> 其他			职务	无
	电子邮箱	sunday@ustc.edu.cn		移动电话	13956004132	
课题联系人	姓名	董功秀	电子邮箱	donggongxiu@ustc.edu.cn		
	固定电话	0551-63603025	移动电话	13956926112		
	证件类型	身份证	证件号码	340121198809065987		
课题财务负责人	姓名	姚子龙	电子邮箱	zlyao@ustc.edu.cn		
	固定电话	0551-63606413	移动电话	13956965278		
	证件类型	身份证	证件号码	340823197110152717		
其他参与单位	序号	单位名称		单位性质	组织机构代码	
	1	上海交通大学		大专院校	1210000042500615X0	
课题参加人数	<u>4</u> 人。其中：		高级职称 <u>4</u> 人, 中级职称 <u>0</u> 人, 初级职称 <u>0</u> 人, 其他 <u>0</u> 人;			
			博士学位 <u>4</u> 人, 硕士学位 <u>0</u> 人, 学士学位 <u>0</u> 人, 其他 <u>0</u> 人。			
课题简介 (限500字以内)	为了应对高亮度 HL-LHC 带来的对探测器技术的挑战, 针对 ATLAS 实验二期升级的要求, 研制高计数率、高时间分辨、高探测效率、抗老化的窄气隙 RPC 探测器和电子学, 并在工程建造阶段确保探测器具有优异一致的性能。在前期工作的基础上, 进一步开展探测器的设计优化工作, 完善制作工艺并建立可靠的制作工艺流程和质量控制方法, 最终按照 ATLAS 协议规定, 完成 Phase-II 升级所需的探测器和电子学制造、安装和调试任务。通过本课题的研究, 全面掌握大面积窄气隙气体探测器建造的关键技术, 并建立起可行可靠的制作工艺流程和质量控制方法。					

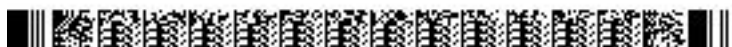


一、目标及考核指标、考核方式/方法

请填写下表。

课题目标、预期成果与考核指标表

课题目标 ¹	预期成果			考核指标 ²			考核方式(方法)及评价手段 ⁴		
	预期成果名称		预期成果类型	指标名称	立项时已有指标值/状态	中期指标值/状态 ³		完成时指标值/状态	
研制阻性板室探测器,其计数率达1kHz/cm ² ,探测效率高于95%,时间分辨率好于1ns。	主要成果	1	窄气隙RPC缪子触发探测器	<input type="checkbox"/> 新理论 <input type="checkbox"/> 新原理 <input type="checkbox"/> 新产品 <input type="checkbox"/> 新技术 <input type="checkbox"/> 新方法 <input type="checkbox"/> 关键部件 <input type="checkbox"/> 数据库 <input type="checkbox"/> 软件 <input type="checkbox"/> 应用解决方案 <input checked="" type="checkbox"/> 实验装置/系统 <input type="checkbox"/> 临床指南/规范 <input type="checkbox"/> 工程工艺 <input type="checkbox"/> 标准 <input type="checkbox"/> 论文 <input type="checkbox"/> 发明专利 <input type="checkbox"/> 其他_____	计数率	原型探测器 1 kHz/cm ² (关键核心指标)	预生产探测器 1 kHz/cm ²	安装到ATLAS实验的RPC: >1 kHz/cm ²	实验测试或由ATLAS验收
				探测效率	RPC样机>95% (关键核心指标)	预生产探测器>95%	安装到ATLAS实验的RPC>95%	实验测试或由ATLAS验收	
				时间分辨	原型探测器 1 ns (关键核心指标)	预生产探测器 1 ns	安装到ATLAS实验的RPC <1 ns	实验测试或由ATLAS验收	
科技报告考核指标	序号		报告类型 ⁵	数量	提交时间		公开类别及时限 ⁶		
	1		课题年度技术进展报告	1	2024年12月		公开		
	2		课题中期技术进展报告	1	中期检查前		公开		
	3		课题年度技术进展报告	1	2026年12月		公开		
	4		课题年度技术进展报告	1	2027年12月		公开		
	5		课题最终技术进展报告	1	2028年12月		公开		
其他目标与考核指标									



二、课题研究内容、研究方法及技术路线

（一）课题的主要研究内容

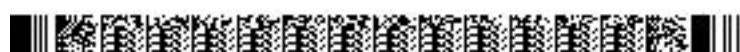
拟解决的关键科学问题、关键技术问题，针对这些问题拟开展的主要研究内容，限 1000 字以内。

为了应对高亮度 HL-LHC 带来的高粒子通量背景和堆积效应，并解决现有 RPC 触发探测器计数率能力不足和长期运行以来的老化问题，ATLAS 缪子谱仪需要在桶部内层新增三层 RPC 探测器，以保持系统整体的缪子触发效率，并提高整个谱仪的有效覆盖面积。新增的三层 RPC 探测器将采用新一代的窄气隙结构，气隙宽度为 1 mm（现有 ATLAS RPC 的气隙宽度是 2 mm），通过减少气隙中雪崩的发展长度来减小雪崩电荷量，从而提高其计数率能力和工作寿命，同时也可以使时间分辨性能得到提升；用作电极板的电木板材料厚度也由原来的 2 mm 降低至 1.4 mm，通过减小在电极板材料上的电压降，来进一步提升计数率能力。由于窄气隙结构带来的气体增益降低，则通过采用基于 GeSi 工艺的高灵敏度、高信噪比的前端电子学设计进行补偿，保持探测效率不受影响。根据探测器的几何特点，采用双端读出信号、利用信号的时间差进行定位，以减少电子学通道数，并提高位置分辨能力。以上技术路线，通过前期的技术攻关，已经经过原理性验证、原型探测器性能测试验证和工程样机的测试验证。在科技部和基金委的大力支持下，中国组深度参与了探测器和电子学的研制工作，并完成了 4 个工程样机的建造，验证了中国组在探测器性能研究和工程建造方面的能力。

由于窄气隙 RPC 工作在这种非常极端的探测器结构和工作条件下，要完成总量达到 1400 余平方米（中国组承担~50%）的全新探测器建造，并确保所有探测器单元具有优异的、均匀的、一致的性能，需要在前期工作的基础上，对探测器的设计进行最终优化，并进一步完善制作工艺并建立起可靠的制作工艺流程和质量控制方法，最终成功完成中国组所承担探测器和电子学的制作、测试、现场安装和调试。通过本项目的研究，全面掌握大面积窄气隙气体探测器建造的关键技术。

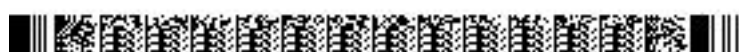
（二）课题采取的研究方法

针对课题研究拟解决的问题，拟采用的方法、原理、机理、算法、模型等限 1000 字以内。



根据窄气隙 RPC 缪子触发探测器现阶段急需解决的关键问题，课题计划在以下方面针对性开展研究。

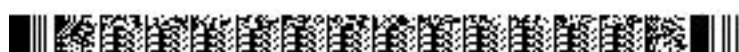
- 1) 气隙制作工艺研究和均匀性控制。窄气隙 RPC 面积大（长度超过 1.7 米，宽度约 1.1 米）、气隙宽度小（1 mm），气隙的精度要控制在 ± 10 微米以内。除了要对决定气隙厚度的垫片和边框的加工方法和加工工艺进行专门的研究以外，还需要建立专用的自动化垫片排布和点胶、涂胶设备，并对制作的流程和各种参数进行专门的优化，确保探测器整体的制作精度和均匀性。
- 2) 读出板制作的平整性控制。RPC 读出板将采用蜂窝板结构制作，重量轻、强度高，蜂窝板的平整性将决定最终探测器的平整性，因此要求读出板具有优于 100 微米的平整度。因此需要建立和优化相应的批量生产工艺和质量控制方法。
- 3) 前端电子学批量制作和质量控制方法研究。前端电子学是窄气隙 RPC 正常运行的核心器件，批量制作中的质量控制尤为重要，要在短时间内完成~5000 块电子学板的性能测试任务，需要建立专用的质量控制方法和批量测试方法。
- 4) 探测器性能测试。所有完成的单层探测器需要通过宇宙线测试来检验其性能。RPC 探测器面积大、通道多，批量制作的时间紧，需要设计和建设大规模多层结构的探测器测试平台和数据获取系统。
- 5) 安装和调试。随着项目和 ATLAS 升级工作的进展，制作和测试完成的探测器将分批运送到 CERN 实验现场。在现场需再次进行性能检测，并针对性解决可能出现的问题。根据升级工程时间安排，参与探测器的安装工作，并进行现场的测试和调试。



三、主要创新点

围绕基础前沿、共性关键技术或应用示范等层面，简述课题的主要创新点。具体内容应包括该项创新的基本形态及其前沿性、时效性等，并说明是否具备方法、理论和知识产权特征。每项创新点的描述限 500 字以内。

窄气隙技术路线可以全面提升 RPC 的计数率、时间分辨率、工作寿命等主要性能，这是 RPC 未来发展的主导方向，课题研制的窄气隙 RPC，将气隙宽度降低至 1 mm，是在粒子物理实验中的首次大规模应用。大面积窄气隙 RPC 对制作工艺、测试方法、质量控制方法都有更高的要求，通过课题的执行，课题组将全面参与 ATLAS 二期升级 RPC 的研制工作，包括气隙的制作、读出板的制作、单层探测器的装配和集成、大规模的探测器和电子学性能测试系统等，建立并掌握窄气隙 RPC 的全部制作工艺和质量控制方法，在大面积气体探测器领域跻身世界领先地位。



四、预期经济社会效益

课题的科学、技术、产业预期指标及科学价值、社会、经济、生态效益。限 500 字以内。

课题研制的窄气隙技术路线在保持 RPC 已有结构简单、单位成本低、易于大面积建造等优点的前提下，大幅度提高了 RPC 的计数率能力，符合高能物理的发展方向，在未来的高能物理实验中有广泛的应用前景。同时，大面积气体探测器也适用于需要大面积覆盖的宇宙线观测实验、稀有事例寻找实验。通过与高灵敏度、高集成度的前端电子学结合，可以有效提高 RPC 探测器的读出通道密度、降低读出单元的颗粒度，使得 RPC 有望应用于宇宙线缪子成像、医学成像、断层扫描、辐射监测、考古研究、土木工程、采矿勘探、地质研究、核反应堆监测、核废料表征、矿井勘测等等众多应用领域。



五、课题年度计划

按每 6 个月制定形成课题的计划进度，应将课题的考核指标分解落实到年度计划中。

1、年度：2023 年 12 月—2024 年 5 月

任务：完成 RPC 气隙的设计和关键部件的加工、制作和测试；完成大面积蜂窝读出板的设计，并启动制作和质量测试；完成单层 RPC 探测器的设计。

考核指标：读出板质量满足工程要求。

成果形式：蜂窝读出板质量测试报告。

2、年度：2024 年 6 月—2024 年 11 月

任务：完成长度超过一米的 RPC 气隙原型探测器制作，并测试漏电流-高压工作曲线；完成 50%（300 块）蜂窝读出板的制作和测试；完成前端电子学板的测试方法研究，并启动前放板的制作和测试；启动并完成 150 个单层 RPC 探测器的制作；建立大规模多层结构的 RPC 探测器测试平台。

考核指标：300 块蜂窝读出板质量合格。

成果形式：蜂窝板质量测试报告。

3、年度：2024 年 12 月—2025 年 5 月

任务：完成 BIM/BIR 位置 RPC 气室的设计；继续完成（300 块）蜂窝读出板的制作和测试；完成（2500 个）前端电子学的制作和测试；探测器装配电子学，并启动宇宙线性能测试。

考核指标：300 块蜂窝读出板质量合格

成果形式：蜂窝板质量测试报告。

4、年度：2025 年 6 月—2025 年 11 月

任务：完成 150 个单层 RPC 探测器的制作；完成（2500 个）前端电子学的制作和测试；完成 150 个单层 RPC 的宇宙线性能测试。

考核指标：探测器探测效率>95%；时间分辨<1 ns。

成果形式：探测器性能测试报告。

5、年度：2025 年 12 月—2026 年 5 月

任务：继续完成 150 个单层 RPC 的宇宙线性能测试；参与三层探测器 chamber 的装配和性能测试，并解决测试中可能出现的问题。

考核指标：探测器探测效率>95%；时间分辨<1 ns。



成果形式：探测器性能测试报告。

6、年度：2026年6月—2026年11月

任务：完善气隙的制作工艺流程，全面测试基于独立制作气隙RPC的性能，确保制作工艺稳定可靠；完成合作组分配的气隙建造任务；继续参与三层探测器的测试工作，并参与CERN现场的组装和调试工作

考核指标：探测器探测效率>95%；时间分辨<1 ns。

成果形式：探测器性能测试报告。

7、年度：2026年12月—2027年5月

任务：参与探测器现场安装和调试。在CERN建立探测器性能检测平台，发现问题及时修复。

考核指标：探测器探测效率>95%；时间分辨<1 ns。

成果形式：探测器性能测试报告。

8、年度：2027年6月—2027年11月

任务：继续参与探测器现场安装和调试，发现问题及时修复。

考核指标：探测器探测效率>95%；时间分辨<1 ns。

成果形式：探测器性能测试报告。

9、年度：2027年12月—2028年5月

任务：完成探测器的现场安装和调试，启动无束流状态下的试运行。

考核指标：探测器探测效率>95%；时间分辨<1 ns。

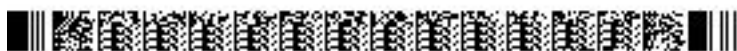
成果形式：探测器性能测试报告。

10、年度：2028年6月—2028年11月

任务：继续完成探测器的现场安装和调试，总结项目经验，撰写批量工艺方面的文章，准备项目结题和验收。

考核指标：探测器探测效率>95%；时间分辨<1 ns；计数率能力好于1 kHz/cm²。

成果形式：课题结题报告。



六、课题组织实施机制及保障措施

1、课题的内部组织管理方式、协调机制等，限 500 字以内。

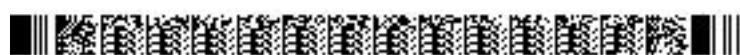
本课题由中国科学技术大学和上海交通大学两家单位参与，研究内容包括关键技术研究 and 探测器与电子学的制作、测试、安装调试。对于关键技术研究部分，各参与单位根据已有基础条件和专长进行合理分工，最大程度发挥各单位的研究力量，保证各关键技术研究按时完成。对于探测器与电子学的制作和测试，由两家单位集中人力，在中国科学技术大学完成，以节省设备和设施的建造成本，并尽量避免大面积探测器的运输专场。探测器的现场安装和调试，则由两家单位按合适比例共同承担。

本课题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。课题负责人根据课题研究内容指定各方面的具体负责人，他们与课题负责人保持密切的沟通和交流，在课题负责人的领导下开展各项研究工作。课题将定期组织课题组例会，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。

2、课题实施的相关政策，已有的组织、技术基础，支撑保障条件，限 500 字以内。

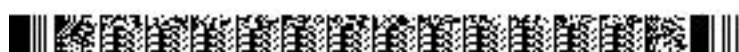
课题将严格执行国家和科技部对“国家重点研究计划”的政策要求，课题各参加单位及各参加单位所在的国家、教育部重点实验室将在研究人员、支撑人员和研究生等人力资源、实验室场地和相关条件上给予支持，以保障项目顺利实施，达到目标。

中国科学技术大学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。中科大依托“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。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。。近年来，上海交通大学引进了多名高能物理领域有潜力的优秀青年人才，他们均在 ATLAS 实验上有多年研究经历，且取得了很好的成就，在探测器模拟、优化等方面已经具有较强的实力。通过人才基金的支持，已经建立起开展探测器研发和建造的实验室和相关测试平台。



3、对实现项目总目标的支撑作用，及与项目内其他课题的协同机制，限 500 字以内。

本课题针对高亮度 HL-LHC 条件下的运行需求，研制高计数率的窄气隙 RPC 探测器，发展抗老化探测器技术，并安装到 ATLAS 桶部内层，以解决现有 ATLAS 缪子系统触发探测器计数率能力不足并已达到工作寿命的问题，保持 ATLAS 实验对缪子事例的高触发效率和高接收度，这对于所有末态含有缪子的物理都至关重要，是 ATLAS 实验二期升级的关键内容，对高亮度取数中 ATLAS 实验物理目标的实现至关重要，与本项目的总体研究目标完全一致。与其他两个课题不同，本课题的主要研究对象为新型气体探测器，但通过 ATLAS 升级项目的合作，本课题将与其他课题共同努力，以顺利完成 ATLAS 二期升级的相关工作。



七、知识产权对策、成果管理及合作权益分配

限 500 字以内。

课题的成果主要是论文发表、设计报告、测试报告、以及探测器的实物。我们将严格遵守科技部相关政策和条例、以及高能物理国际合作实验的政策和协议。本课题获得的资源、材料、信息，各协作单位有权共享和用于开展与其项目相关的研究：在项目执行期限内，独立完成的成果和形式的知识产权归完成单位拥有；由双方协同完成的成果和形成的知识产权由双方共同享有，并以主要完成单位为主：因使用双方提供的材料，专利形成的成果，知识产权归属另有规定的，以双方具体协议为准。

