

课题编号：2018YFA0404301

密 级：公开

国家重点研发计划 课题任务书

课题名称：高能环形正负电子加速器关键技术验证

所属项目：高能环形正负电子对撞机关键技术研发和验证

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：中国科学院高能物理研究所

课题负责人：池云龙

执行期限：2018年05月至2023年04月

中华人民共和国科学技术部制

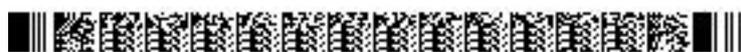
2018年05月19日

0003YF 2018YFA0404301 2018-05-19 22:03:04



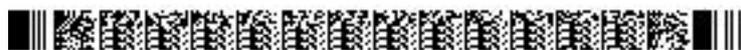
填写说明

- 一、任务书甲方即项目牵头承担单位，乙方即课题承担单位。
- 二、任务书通过“国家科技计划管理信息系统公共服务平台”，按照系统提示在线填写。
- 三、任务书中的单位名称，请按规范全称填写，并与单位公章一致。
- 四、任务书要求提供乙方与所有参加单位的合作协议，需对原件进行扫描后在线提交。
- 五、任务书中文字须用宋体小四号字填写。
- 六、凡不填写内容的栏目，请用“无”表示。
- 七、乙方完成任务书的在线填写，提交甲方审核确认后，用A4纸在线打印、装订、签章。一式八份报项目牵头承担单位签章，其中课题承担单位一份，课题负责人一份，作为项目任务书附件六份。
- 八、如项目下仅设一个课题，课题任务书只需填报课题预算部分。
- 九、涉密课题请在“国家科技计划管理信息系统公共服务平台”下载任务书的电子版模板，按保密要求离线填写、报送。
- 十、《项目申报书》和《项目任务书》是本任务书填报的重要依据，任务书填报不得降低考核指标，不得自行对主要研究内容作大的调整。《项目申报书》、《项目任务书》和本任务书将共同作为课题过程管理、验收和监督评估的重要依据。

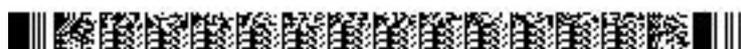


课题基本信息表

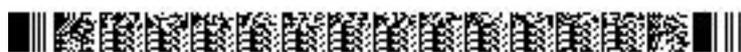
课题名称	高能环形正负电子加速器关键技术验证					
课题编号	2018YFA0404301					
所属项目	高能环形正负电子对撞机关键技术研发和验证					
所属专项	大科学装置前沿研究					
密级	<input checked="" type="checkbox"/> 公开 <input type="checkbox"/> 秘密 <input type="checkbox"/> 机密	单位总数	1			
课题类型	<input checked="" type="checkbox"/> 基础前沿 <input type="checkbox"/> 重大共性关键技术 <input type="checkbox"/> 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	核科学技术 粒子加速器					
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					
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 974.00 万元，其中中央财政专项经费需求 974.00 万元					
课题周期节点	起始时间	2018 年 05 月	结束时间	2023 年 04 月		
	实施周期	共 60 个月	预计中期时间点	2020 年 04 月		
课题承担单位	单位名称	中国科学院高能物理研究所		单位性质	事业型研究单位	
	单位所在地	北京市 北京 石景山区		组织机构代码	12100000400012211J	
	通信地址	玉泉路 19 号乙中国科学院高能物理研究所		邮政编码	100049	
	银行账号	0200004909014451557		法定代表人姓名	王贻芳	
	单位开户名称	中国科学院高能物理研究所				
	开户银行(全称)	102100000499 中国工商银行股份有限公司北京永定路支行				
课题	姓名	池云龙	性别	<input checked="" type="checkbox"/> 男 <input type="checkbox"/> 女	出生日期	1964-08-03



负责人	证件类型	身份证	证件号码	110108196408039013	
	所在单位	中国科学院高能物理研究所			
	最高学位	□博士□硕士■学士□其他			
	职称	■正高级□副高级□中级□初级□其他		职务	中国科学院高能物理研究所 加速器中心副主任
	电子邮箱	chiyl@ihep.ac.cn		移动电话	15611938046
课题联系人	姓名	周洁	电子邮箱	yunlong.chi@ihep.ac.cn	
	固定电话	010-88236230	移动电话	18811679933	
	证件类型	身份证	证件号码	110102197401133089	
课题财务负责人	姓名	周洁	电子邮箱	zhouj@ihep.ac.cn	
	固定电话	010-88236230	移动电话	18811679933	
	证件类型	身份证	证件号码	110102197401133089	
其他参与单位	序号	单位名称		单位性质	组织机构代码
	1	中国科学院高能物理研究所		事业型研究单位	121000004000122 11J
课题参加人数	18人。其中：		高级职称 10人，中级职称 8人，初级职称 0人，其他 0人；		
			博士学位 8人，硕士学位 6人，学士学位 4人，其他 0人。		
课题简介 (限 500 字以内)	<p>本课题研发和验证可以满足 CEPC 要求的关键加速器技术：完成国际上最低工作磁场的增强器高精度二极磁铁原型机、主环真空系统关键设备弯转真空盒、RF 屏蔽波纹管原型机、120GeV 高能正负电子束静电分离器原型机及 CEPC 在 Z 能区极化束流运行设计方案。</p> <p>课题一（加速器关键技术的研发和验证）分为四个任务。任务 1 针对指南要求，完成增强器交变二极低场磁铁的样机，最低磁场为 31Gs，场均匀性要求 5×10^{-4}，围绕着该指标制定研究方案，计划完成国际上首台最低工作磁场为 31Gs 的增强器高精度二极磁铁样机的设计和研制；任务 2 针对指南考核指标“完成弯转真空盒和 RF 屏蔽波纹管的样机，总漏率小于 2×10^{-10} Torr*L/s”，围绕着该指标制定研究方案，计划完成 CEPC 弯转真空盒、RF 屏蔽波纹管和真空盒内表面镀吸气剂膜样机研制；任务 3 针对指南考核指标“完成正负电子束静电分离器的样机，最大场强为 2MV/m，电场均匀性 (1%) $10 \times 10 \text{ mm}^2$”，围绕着该指标制定研究方案，计划完成 CEPC 正负电子束静电分离器样机的研制；任务 4 针对指南考核指标</p>				



	<p>“完成在 Z 能区极化束对撞的设计，束流极化度大于 50%，寿命大于 60 分钟”，围绕着该指标制定研究方案，将开展 CEPC 在 Z 能区极化束流的加速器物理研究与设计，给出 CEPC 在该能区极化束流运行时的物理方案设计。</p>
--	--



一、目标及考核指标、评测方式/方法

课题目标、成果与考核指标表

课题目标 ¹	成果名称	成果类型	考核指标 ²				考核方式(方法)及评价手段 ⁴
			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	
1.开展 CEPC 增强器关键设备高精度低场二极磁铁、弯转真空盒、RF 屏蔽波纹管 and 真空盒内表面镀吸气剂膜、高能正负电子束静电分离器的研制；开展 CEPC 在 Z 能区极化束流的加速器物理研究与设计。	高精度低场二极磁铁	<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 checked="" 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 type="checkbox"/> 实验装置/系统 <input checked="" type="checkbox"/> 工程工艺 <input type="checkbox"/> 标准 <input type="checkbox"/> 专利 <input checked="" type="checkbox"/> 论文 <input type="checkbox"/> 其他	高精度低场二极磁铁最低磁场强度和均匀度	最低工作磁场 127Gs, 磁场均匀度 5×10^{-4}	最低工作磁场 60Gs, 磁场均匀度 5×10^{-4}	最低工作磁场 31Gs, 磁场均匀度 5×10^{-4}	同行专家组现场测试, 测试报告将写入高能环型正负电子对撞机加速器关键技术和测试报告
	研制弯转真空盒、RF 屏蔽波纹管 and 真空盒内表面镀吸气剂膜	<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 checked="" 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 type="checkbox"/> 实验装置/系统 <input checked="" type="checkbox"/> 工程工艺 <input type="checkbox"/> 标准 <input type="checkbox"/> 专利 <input checked="" type="checkbox"/> 论文 <input type="checkbox"/> 其他	真空盒极限真空	5×10^{-10} Torr	3×10^{-10} Torr	2×10^{-10} Torr	同行专家组现场测试, 测试报告将写入高能环型正负电子对撞机加速器关键技术和测试报告



			真空盒总漏率	5×10^{-10} Torr•L/s	3×10^{-10} Torr•L/s	2×10^{-10} Torr•L/s	同行专家组 现场测试,测 试报告将写 入高能环型 正负电子对 撞机加速器 关键技术设 计和测试报 告
			RF屏蔽波纹管接 触力	125±50g	125±30g	125±25g	同行专家组 现场测试,测 试报告将写 入高能环型 正负电子对 撞机加速器 关键技术设 计和测试报 告
	高能正负 电子束静 电分离器	<input type="checkbox"/> 新理论 <input type="checkbox"/> 新原理 <input type="checkbox"/> 新产品 <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 新技术 <input type="checkbox"/> 新方法 <input type="checkbox"/> 关键部件 <input type="checkbox"/> <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 <input type="checkbox"/> 实验装置/系统 <input checked="" type="checkbox"/> 工程工艺 <input type="checkbox"/> 标准 <input type="checkbox"/> 专利 <input checked="" type="checkbox"/> 论文 <input type="checkbox"/> 其他	静电分离器电场 强度	1.8MV/m@± 60kV 工作电 压	完成静电分 离器的初步 设计, 以实 现 2MV/m@± 10kV 工作电 压的电场强 度要求	2MV/m@±1 0kV 工作 电压	同行专家组 现场测试,测 试报告将写 入高能环型 正负电子对 撞机加速器 关键技术设 计和测试报 告



			静电分离器电场均匀性	无	完成静电分离器初步设计, 以实现(1%)10×10 mm ² 的场均匀性	(1%)10×10 mm ²	同行专家评审, 静电分离器设计报告将写入高能环型正负电子对撞机加速器关键技术设计和测试报告
			静电分离器腔体真空度	6×10 ⁻¹⁰ Torr	完成静电分离器初步设计, 以实现2×10 ⁻¹⁰ Torr的腔体真空度要求	2×10 ⁻¹⁰ Torr	同行专家组现场测试, 测试报告将写入高能环型正负电子对撞机加速器关键技术设计和测试报告
CEPC在Z能区极化束流运行时的整体物理设计	<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 checked="" 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 type="checkbox"/> 实验装置/系统 <input type="checkbox"/> 工程工艺 <input type="checkbox"/> 标准 <input type="checkbox"/> 专利 <input checked="" type="checkbox"/> 论文 <input type="checkbox"/> 其他	在Z能区极化束流的加速器物理研究与设计		已有不含极化插入件的lattice设计	明确极化插入件的基本参数选择和精确能量测量的工作模式; 模拟研究束流极化度大于50%的实现条件	束流极化度大于50%, 束流寿命大于60分钟	同行专家评审, 束流极化物理设计报告将写入高能环型正负电子对撞机加速器关键技术设计和测试报告

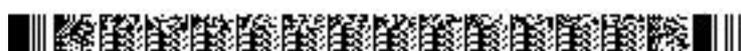


科技报告考核 指标	序号	报告类型 ⁵	数量	提交时间	公开类别及时限 ⁶
	1	课题年度技术进展报告	1	2019年6月	公开
	2	课题中期技术进展报告	1	中期检查前	公开
	3	课题年度技术进展报告	1	2021年6月	公开
	4	课题年度技术进展报告	1	2022年6月	公开
	5	课题最终科技报告	1	结题验收前	公开
	6	高能环型正负电子对撞机加速器关键技术设计和测试报告	1	2023年4月	公开



备注：

1. **“课题目标”**，应从以下方面明确描述：（1）研发主要针对什么问题和需求；（2）将要解决哪些科学问题、突破哪些核心/共性/关键技术；（3）预期成果；（4）成果将以何种方式应用在哪些领域/行业/重大工程等，并拟在科技、经济、社会、环境或国防安全等方面发挥何种的作用和影响。
2. **“考核指标”**，指相应成果的数量指标、技术指标、质量指标、应用指标和产业化指标等，其中，数量指标可以为论文、专利、产品等的数量；技术指标可以为关键技术、产品的性能参数等；质量指标可以为产品的耐震动、高低温、无故障运行时间等；应用指标可以为成果应用的对象、范围和效果等；产业化指标可以为成果产业化的数量、经济效益等。同时，对各项考核指标需填写立项时已有的指标值/状态以及课题完成时要到达的指标值/状态。同时，考核指标也应包括支撑和服务其他重大科研、经济、社会发展、生态环境、科学普及需求等方面的直接和间接效益。如对国家重大工程、社会民生发展等提供了关键技术支撑，成果转化并带动了环境改善、实现了销售收入等。若某项成果属于开创性的成果，立项时已有指标值/状态可填写“无”，若某项成果在立项时已有指标值/状态难以界定，则可填写“/”。
3. **“中期指标”**，各专项根据管理特点，确定是否填写，鼓励阶段目标明确的项目课题填写中期指标。
4. **“考核方式方法”**，应提出符合相关研究成果与指标的具体考核技术方法、测算方法等。
5. **“科技报告类型”**，包括项目验收前撰写的全面描述研究过程和技术内容的最终科技报告、项目年度或中期检查时撰写的描述本年度研究过程和进展的年度技术进展报告以及在项目实施过程中撰写的包含科研活动细节及基础数据的专题科技报告（如实验报告、试验报告、调研报告、技术考察报告、设计报告、测试报告等）。其中，每个项目在验收前应撰写一份最终科技报告；研究期限超过2年（含2年）的项目，应根据管理要求，每年撰写一份年度技术进展报告；每个项目可根据研究内容、期限和经费强度，撰写数量不等的专题科技报告。科技报告应按国家标准规定的格式撰写。
6. **“公开类别及时限”**，公开项目科技报告分为公开或延期公开，内容需要发表论文、申请专利、出版专著或涉及技术诀窍的，可标注为“延期公开”。需要发表论文的，延期公开时限原则上在2年（含2年）以内；需要申请专利、出版专著的，延期公开时限原则上在3年（含3年）以内；涉及技术诀窍的，延期公开时限原则上在5年（含5年）以内。涉密项目科技报告按照有关规定管理。



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。

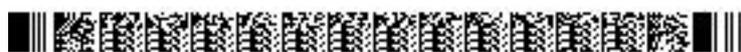
历史上欧洲核子中心的大型正负电子对撞机(Large Electron Position Collider, LEP)曾达到过的最高质心系能量为 210 GeV, 下一代高能环形正负电子对撞机对所能达到的能量要求更高、不低于 240 GeV; 同时对撞机的亮度要达到 LEP 的几千倍。同时, Z 粒子能区物理研究、探测器准直和刻度等要求对撞机能够比较快速地实现从 240GeV 到 91GeV 的转换, 并且要求在 91GeV 附近的瞬时亮度应达到 $1.6 \times 10^{35} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$, 且束流极化度达到至少 10% 来实现基于共振退极化的精确束流能量测量, 此外, 部分物理研究希望能够实现约 50% 的纵向极化束流高亮度对撞。在 CEPC 和 FCC 研究团队的前期研究中, 对下一代正负电子对撞机的设计参数进行了很多探讨, 虽然认为建造这样一台对撞机没有原则困难, 但建造能够同时满足能量、亮度和功耗要求、也满足已知技术条件限制的设计方案尚不存在, 因此本项目选取几个最关键的部分(部件)开展预研工作。

1) CEPC 低场高精度二极磁铁样机研制

拟重点解决的科学问题主要有: 如何减小铁芯剩磁对低场(31Gs) 磁场特性, 如均匀性、重复性和非线性性的影响; 如何减小不同场平下磁场特性的差异; 如何消除涡流对磁场特性的影响; 如何减小低场状态下地磁对磁场特性的影响; 如何测量绝对精度为 0.009Gs 的磁场; 如何制造长度为 5m 的磁铁; 如何控制磁铁制造成本; 如何解决超高能量辐射环境下线圈的绝缘问题。

2) 弯转真空盒及 RF 波纹管原型机研制

通过选择铝和铜两种不同材料制造弯转真空盒, 掌握 CEPC 真空盒的设计和分析计算方法, 摸索真空盒的拉伸、挤压成型、焊接和清洗工艺, 实现国产化批量生产。通过建立镀吸气剂膜装置, 了解和优化镀膜工艺参数, 掌握弯转的长真空盒镀膜方法。CEPC 指型 RF 屏蔽波纹管结构的关键点之一是接触力的强度。每一个接触指应该与束流管道有一个适当的接触力, 从而保持足够的电接触, 以免产生高频电流。因此, 为了避免在接触点过热和产生打火现象, 得到最小的接触力是重要的。通过研制上述关键部件和装置, 了解真空盒材料性能, 掌握弯转真空盒拉伸和挤压成型工艺, 解决大尺寸真空盒镀膜的难题。同时, 研究 RF 屏蔽波纹管设计方法和加工、



焊接工艺。

3) 静电分离器原型研制

针对 CEPC 全双环方案中,需要将正、负电子束团在对撞机主环高频区进行分离的需求,开展 120GeV 高能正负电子束静电分离器的设计与原型样机的研制。包括超高真空腔体、静电场电极,高压绝缘支撑件、高压馈电装置设计,高阶模吸收器及冷却系统设计和抽真空系统设计等内容。

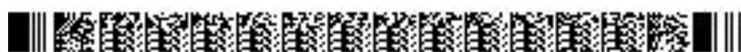
4) 极化束流的研究和设计

开展 CEPC 在 Z 能区极化束流的加速器物理研究与设计,对基于共振退极化的精确束流能量测量进行深入分析,对实现纵向极化束流高亮度对撞的加速器物理问题进行探索性研究。

(二) 课题采取的研究方法

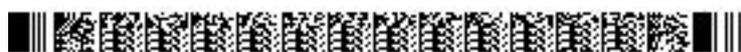
针对课题研究拟解决的问题,拟采用的方法、原理、机理、算法、模型等

- 1) CEPC 低场高精度二极磁铁一种方案是采用 H 型结构或其它封闭型结构有利于地磁场的屏蔽;铁芯采用低剩磁特性的硅钢片叠装而成,采用纵向或横向铁芯稀释技术,以提高铁芯内的磁通密度,同时减轻铁芯重量。另一种方案为空心线圈方案,可以消除铁芯材料剩磁对磁场性能的影响;拟采用类似超导磁铁 $\cos\theta$ 电流分布方案确定空心线圈的位置;由于单极线圈匝数只有 1 匝,线圈对地绝缘可以采用表面喷涂陶瓷的方案,以解决绝缘抗辐照的问题。
- 2) CEPC 弯转真空盒可以选择类似于 LEP 的铝真空盒,或铜真空盒。铜真空盒制造程序是:束流管和冷却水管挤压成型加工,化学清洗,电子束焊接,真空盒内表面镀吸气剂膜。吸气剂(NEG)镀膜系统由真空盒、阴极、螺线管及电源、涡轮分子泵机组、电容真空计、残余气体分析仪、放电电源等组成。RF 屏蔽波纹管接触指将被设计成具有较高的接触力,考虑到同步辐射光反射功率、焦耳热、在真空盒内表面的高次模热负载,在 RF 屏蔽波纹管组件内安装冷却水通道。
- 3) 利用 Opera 软件对 CEPC 静电分离器高压静电场进行设计,并通过优化极板形状,提高表明处理工艺,以及提高冷却系统效率,以减少电极板热出气率、降低打火率;对高压馈电引线采用模块化设计,以便于安装、维护;对静电分离器进行高阶模的



仿真分析，进行高阶模吸收器的设计；根据静电分离器中残余气体含量分析确定真空系统的构成，以满足静电分离器真空度要求。

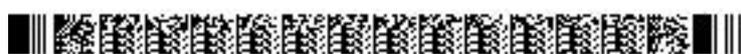
- 4) 通过解析计算与分析，CEPC 在 Z 能区的参数选择、lattice 设计和运行模式中充分考虑极化束流的特殊要求，通过多粒子跟踪模拟来研究束流高极化度的保持。



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。

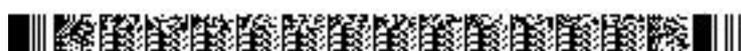
国际上低场二极磁铁的最低工作磁场都大于 120Gs，因此课题一所研究的 31Gs 高精度低场交变二极磁铁对地磁、温度更加敏感，对磁性材料属性、磁特性要求更高，目前国内外还没有系统研究超低场高精度二极磁铁的经验；多通道铝、铜材料长弯转真空盒的加工和焊接，RF 屏蔽波纹管结构设计和热功率测试，长弯铜真空盒内表面镀吸气吸膜等的设计和工艺技术在国内首次使用；国内首次开展 120GeV 束团静电分离器的研究，工作电压达到 $\pm 110\text{kV}$ ，电场强度达到 2MV/m ；首次在 Z 能区双环对撞机上系统研究极化束流对撞的实现方案。



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。

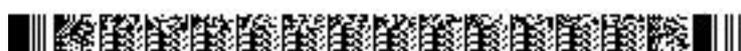
1. CEPC 增强器二极磁铁总长占据了增强器环 65% 的长度，它的特点是磁铁数量多，长度长，精度高，场平低，通过本项目的预研将推动国内对磁铁材料的深入研究，促进我国加速器磁铁技术的研发能力和工业制造水平；为我国未来建设基于相关技术的重大科学工程和产业应用提供必要的技术储备。本课题的预研将把超低场（31Gauss）二极磁铁的磁场精度控制在 $5E-4$ 量级，通过优化设计有效降低磁铁的工程造价和运行费用。
2. 通过加速器真空系统研制，使更多的年轻人参与加速器真空系统的设计，促进国内相关厂家掌握先进的机加工和焊接技术，提高国内加速器技术水平和降低工程制造成本。
3. 通过静电分离器的研制，解决 CEPC 环形加速器的关键技术，提高静电分离器的研发能力和工艺制造水平。提高束团分离性能，降低工程制造成本。
4. 通过对 CEPC 在 Z 能区束流极化运行的研究设计，将为实现 CEPC 在 Z 能区的物理实验目标奠定基础，极化束对撞的实现有望进一步丰富 CEPC 的物理成果。



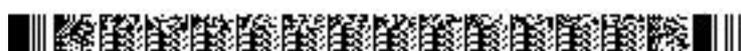
五、课题年度计划

按年度制定完成课题的计划进度，应将课题的考核指标分解落实到年度计划中。

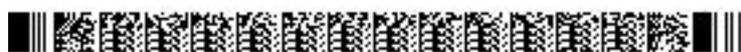
年度	任务	考核指标	成果形式
2018年 5月 2019年 4月	对低场高精度二极磁铁的方案进行可行性研究，并完成各种小型实验样机的物理设计和结构设计；完成弯转真空盒、真空盒内表面镀吸气剂膜装置以及 RF 屏蔽波纹管技术调研和初步设计；对静电分离器参数的仿真分析，完成实验样机的物理和结构的初步设计； 研究极化扭摆器的参数选择及精确能量测量的工作模式。	<p>任务 1：小型实验样机方案设计，设计指标：最低工作磁场 31Gs，均匀度 5×10^{-4}。</p> <p>任务 2：完成弯转真空盒、真空盒内表面镀吸气剂膜装置以及 RF 屏蔽波纹管相关设备和技术调研，完成初步设计。</p> <p>任务 3：完成分离器静电场设计，建模及仿真分析，设计指标：最大场强为 2MV/m，电场均匀性 (1%) $10 \times 10 \text{ mm}^2$；</p> <p>任务 4：完成束流能量精确测量的工作模式研究与设计。</p>	课题年度技术进展报告
2019年 5月 2020年 4月	定制高性能硅钢片，完成高精度低场二极磁铁小型实验样机的加工制造，并对设计方案进行实验验证；完成弯转真空盒、真空盒内表面镀吸气剂膜装置以及 RF 屏蔽波纹管工程设计；完成静电分离器的整体方案设计、开展绝缘支撑件、高压馈电穿墙件和高阶模吸收器等关键部件的设计； 开发完善储存环平衡束流极化度模拟程序，及误差效	<p>任务 1：定制高性能硅钢片。完成总长 1m 的小型实验样机，达到中期考核指标。</p> <p>任务 2：完成弯转真空盒、真空盒内表面镀吸气剂膜装置以及 RF 屏蔽波纹管工程设计，进行采购审批和合同签订。订购真空计、真空泵和流量控制器等标准设备。达到中期考核指标。</p> <p>任务 3：完成真空腔室的机械设计；完成电极板结构优化，冷却方案设计及电极板整体机械设计；完成高阶模吸收器的热力学分析。达到中期考核指标。</p>	<p>课题中期技术进展报告</p> <p>关键部件</p>



	应对平衡极化度的影响。	任务 4: 完成储存环平衡极化度模拟程序的开发, 结合储存环误差校正的结果评估束流平衡极化度及对束流能量测量精度的影响。达到中期考核指标。	
2020年 5月 2021年 4月	完成小型实验样机的磁场测量及方案验证, 确定高精度低场二极磁铁正式样机的设计方案, 完成磁铁的物理设计、结构设计及其磁场测量系统的设计; 完成真空盒、镀膜实验装置和屏蔽波纹管的加工, 搭建实验系统进行测试; 进行整体组装; 搭建测试平台并进行静电场高压老练及测试; 进行整体组装及静电场测试; 研究比较自旋旋转器的各种设计方案及储存环磁聚焦结构的调整。	任务 1: 小型实验样机主要考核内容和指标: 最低磁场 60Gs, 均匀度 5×10^{-4} ; 磁铁正式样机设计指标: 磁铁长 5m, 最低磁场 31Gs, 最高磁场 360Gs, 均匀度 5×10^{-4} ; 磁场测量系统设计指标: 测量精度好于 1×10^{-4} 。 任务 2: 完成真空盒、镀膜实验装置和屏蔽波纹管的加工, 搭建实验系统进行测试和验收。主要考核内容和指标: 真空盒极限真空小于 2×10^{-10} Torr; 总漏率小于 2×10^{-10} Torr·L/s。 任务 3: 完成静电分离器样机组装及测试, 主要考核内容和指标: 分离器静电场测试结果达到 1.6MV/m; 真空度小于 4×10^{-10} Torr。 任务 4: 完成自旋旋转器参数选择及储存环磁聚焦结构设计优化。	课题年度技术进展报告
2021年 5月 2022	完成二极磁铁正式样机的加工, 完成超高精度磁场测量系统的研制; 通过建立的镀膜实验平台对真空盒内表面进行镀 TiZrV 吸气剂膜实验, 完	任务 1: 磁场测量系统测量精度达到 1×10^{-4} ; 研制总长 5m 的二极磁铁正式磁铁样机。 任务 2: 通过建立的镀膜实验平台对真空盒内表面进行镀 TiZrV 吸	课题年度技术进展报告



<p>年 4月</p>	<p>成 RF 屏蔽波纹管样机研制；对静电分离器进行高压老练实验，进行冷却系统和高阶模吸收器的优化设计；研究极化束流运行对注入器设计的要求及设计方案。</p>	<p>气剂膜实验，通过不断改进工艺参数，达到设计要求。完成 RF 屏蔽波纹管样机研制，波纹管接触指接触力为 $125\pm 25\text{g}/\text{finger}$，达到设计要求。</p> <p>任务 3: 通过真空烘烤、高压老练，及部件设计优化，使分离器静电场逐步达到设计指标 $2\text{MV}/\text{m}$，真空度优于 $2\times 10^{-10}\text{Torr}$。</p> <p>任务 4: 完成兼容极化束流运行的注入器设计。</p>	
<p>2022 年 5月 2023 年 4月</p>	<p>完成高精度低场二极磁铁正式样机的性能测试及验收；完成真空盒镀膜样品测试；完成静电分离器高压老练和测试；完善储存环磁聚焦结构设计，撰写极化束流运行的物理设计报告，开展同行评议。</p>	<p>任务 1: 正式样机磁场测量结果满足设计要求：最低磁场达到 31Gs，磁场均匀性达到 5×10^{-4}。</p> <p>任务 2: 组织评审会对真空盒研制设备进行评审，完成所有技术资料的整理、归档等工作。</p> <p>任务 3: 完成样机的研制和测试，组织相关专家进行静电分离器的现场验收；给出 CEPC 正负电子束静电分离系统的设计方案，满足加速器物理的要求。</p> <p>任务 4: 完善储存环磁聚焦结构设计，撰写极化运行的物理设计报告。束流极化度大于 50%，束流寿命大于 60 分钟。</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 课题最终科技报告 2. 论文 3. 实验装置 4. 关键部件 5. 新方法（束流极化物理设计） 6. 高能环型正负电子对撞机加速器关键技术设计和测试报告 7. 工程工艺



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

课题包括四个任务：任务一是完成增强器交变二极低场磁铁的样机，任务二是完成弯转真空盒和 RF 屏蔽波纹管的样机，任务三是完成正负电子束静电分离器的样机，任务四是完成在Z能区极化束对撞的设计，四个任务全由中国科学院高能物理研究所承担

课题负责人负责本课题的研究活动安排，一般情况需要每两周开一次例会，开展课题组内部的学术交流，按项目计划进度安排研究工作。课题负责人同时负责课题研究队伍组织、任务安排及国际合作。

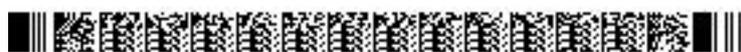
2、课题实施的相关政策，已有的组织、技术基础，支撑保障条件

中国科学院高能物理研究所四十多年来为国内外大型加速器工程项目设计和研制了大量的磁铁，包括直流磁铁、交流磁铁、脉冲磁铁以及超导磁铁，在加速器磁铁磁场设计、磁铁加工和磁场测量等方面积累了丰富的研究经验。加速器磁铁实验室拥有电磁场仿真计算软件OPERA，高精度点测机，平移线圈磁场测量系统，张力线磁场测量系统，高精度准直系统，高精度磁测电源等技术基础和支撑保障条件，可以完成各类磁铁的磁场设计和测量任务。

中国科学院高能物理研究所真空实验室有各种真空获得设备，如溅射离子泵、涡轮分子泵、干泵、吸气剂泵、钛升华泵等；真空测量设备有各种真空计、残余气体分析仪和氦质谱检漏仪等；测试系统有真空规管比对系统、抽速测试系统、材料放气率测试系统、二次电子发射系数测量系统以及真空镀膜系统等。

BEPC曾经设计研制过两套静电分离器，并投入到运行使用。在2005年BEPCII改造过程中，进行了静电分离器的初步设计，具有一定理论设计基础。试验室拥有进行电场分析的模拟软件，以及机械设计软件，可以进行前期设备参数设计及仿真；高能所工厂具有加速器相关部件的加工制作经验，可以完成静电分离器的腔体和极板加工，以及其它高压部件的制作，另外可以协同物理、磁铁、高频、真空等专业组成员对相关技术难题进行研制与测试。

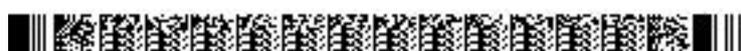
中国科学院高能物理研究所主导CEPC的前期预研，目前已完成概念设计报告(CDR)，CEPC在Z能区的极化束流研究是已有工作的自然扩展，极化束流的并行模拟研究已有小型计算服务器支持。



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

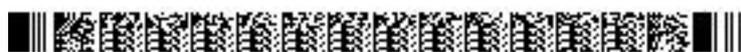
本课题主要对加速器的关键技术的预研，是总目标中必不可少的一部分。CEPC 研制中，正负电子对撞是由加速器为粒子提供能量最后实现，因此加速器关键技术是课题研制中非常关键的组成部分。本课题关键技术的预研为物理设计的实现提供条件，而技术性能的极限为物理设计提供边界条件。如增强器高精度低场二极磁铁的设计，磁场性能的满足是CEPC的前提条件。此外，关键技术决定了对撞机的性能，从而对探测器等部分的研究也有关联。因此，本课题对于其它相关课题的完成有着重要的影响。

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，各参与单位依托的国家级和省部级重点实验室，将在研究人员、支撑人员、研究生、实验室场地、实验室设备和相关配套设施上给予大力支持，以保障项目顺利实施，达到预期目标。



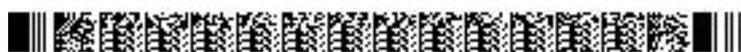
七、知识产权对策、成果管理及合作权益分配

项目的成果主要是论文发表，设计报告，测试报告，与探测器和加速器的原型机。我们将严格遵守科技部相关政策和条例、以及高能物理各国际合作实验的政策和协议。本项目获得的资源、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。



八、需要约定的其他内容

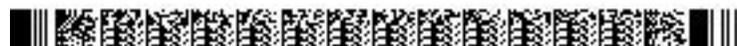
1. 项目未完成任务目标，任务验收结论为结题或不通过的，项目下所有课题结余资金由项目牵头单位统一组织上交专业机构。



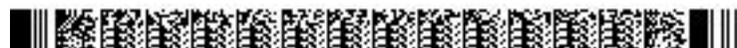
九、课题参加人员基本情况表

填表说明： 1. 职称分类：A、正高级 B、副高级 C、中级 D、初级 E、其他；
 2. 投入本课题的全时工作时间（人月）是指在课题实施期间该人总共为课题工作的满月度工作量；累计是指课题组所有人员投入人月之和；
 3. 课题固定研究人员需填写人员明细；
 4. 是否有工资性收入：Y、是 N、否；
 5. 人员分类代码：A、课题负责人 B、课题骨干 C、其他研究人员；
 6. 工作单位：填写单位全称，其中高校要具体填写到所在院系。

序号	姓名	性别	出生日期	身份证号码 (军官证、护照)	技术 职称	职务	学位	专业	投入本课题的 全时工作时间 (人月)	人员 分类	在课题中分 担的任务	是否有 工资性 收入	工作单位
1	池云龙	男	1964-08-03	110108196408039013	正高级	中国科学院 高能物理研 究所加速器 中心副主任	学士	加速器技术	40	课题负责 人	课题负责人	Y	中国科学院高能物理研究所
2	康文	男	1972-04-03	622201197204031535	正高级	无	博士	加速器技术	30	课题骨干	高精度低场 磁铁方案设 计	Y	中国科学院高能物理研究所
3	杨梅	女	1982-01-12	429006198201125426	中级	无	硕士	加速器技术	20	课题骨干	高精度低场 磁铁方案设 计	Y	中国科学院高能物理研究所



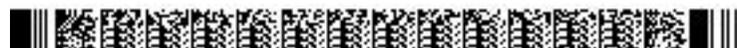
4	陈沅	男	1979-09-20	110102197909202313	副高级	无	博士	加速器技术	30	课题骨干	高精度低场 磁铁磁场设计	Y	中国科学院高能物理研究所
5	周建新	男	1983-06-12	420621198306128955	副高级	无	博士	加速器技术	30	课题骨干	高精度低场 磁铁磁场测量	Y	中国科学院高能物理研究所
6	董海义	男	1964-02-04	110107196402041239	正高级	无	硕士	加速器技术	30	课题骨干	真空系统设计 计研究	Y	中国科学院高能物理研究所
7	刘鹏	男	1990-02-21	110105199002215819	中级	无	硕士	加速器技术	30	课题骨干	静电分离器 高压部件设计	Y	中国科学院高能物理研究所
8	宋洪	女	1963-08-12	110107196308121283	正高级	无	学士	加速器技术	30	课题骨干	真空盒设计 研究	Y	中国科学院高能物理研究所
9	李琦	女	1971-09-12	110103197109120623	副高级	无	学士	加速器技术	30	课题骨干	真空盒设计 研究	Y	中国科学院高能物理研究所
10	黄涛	男	1983-02-21	420583198302212811	中级	无	硕士	加速器技术	30	课题骨干	真空盒内表 面镀膜设计	Y	中国科学院高能物理研究所



											研究		
11	刘佳明	男	1987-05-20	152221198705204614	中级	无	硕士	加速器技术	30	课题骨干	RF 屏蔽波纹管设计研究	Y	中国科学院高能物理研究所
12	马永胜	男	1986-10-16	622424198610160017	中级	无	硕士	加速器技术	30	课题骨干	RF 屏蔽波纹管设计研究	Y	中国科学院高能物理研究所
13	陈斌	男	1974-02-14	110106197402141836	副高级	无	学士	加速器技术	30	课题骨干	静电分离器研究	Y	中国科学院高能物理研究所
14	王冠文	男	1987-04-16	22020419870416151X	中级	无	博士	核技术与应用	30	课题骨干	静电分离器机械结构设计	Y	中国科学院高能物理研究所
15	李小平	男	1982-04-18	350583198204187116	副高级	无	博士	加速器技术	20	课题骨干	极化束流源研究	Y	中国科学院高能物理研究所
16	王毅伟	男	1985-09-24	350681198509240013	中级	无	博士	加速器物理	30	课题骨干	磁聚焦结构设计优化	Y	中国科学院高能物理研究所
17	段哲	男	1986-09-26	61050219860926025X	中级	无	博士	加速器物理	20	课题骨干	极化束数值模拟与误差分析	Y	中国科学院高能物理研究所



18	王逗	女	1983-09-03	61052119830903062X	副高级	无	博士	加速器技术	10	其他研究 人员	极化束工作 模式与参数 研究	Y	中国科学院高能物理研究所
		固定研究人员合计							500	/	/	/	/
		流动人员或临时聘用人员合计							270	/	/	/	/
		累计							770	/	/	/	/

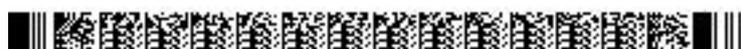


十、经费预算

课题（2018YFA0404301）承担单位基本情况表

表B1

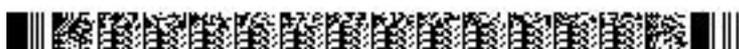
填表说明：1. 组织机构代码指企事业单位国家标准代码，单位若已三证合一请填写单位社会信用代码，无组织机构代码的单位填写“000000000”； 2. 单位公章名称必须与单位名称一致。					
课题编号	2018YFA0404301		执行周期（月）	60	
课题名称	高能环形正负电子加速器关键技术验证				
课题承担单位	单位名称	中国科学院高能物理研究所			
	单位性质	事业型研究单位			
	单位主管部门	中国科学院	隶属关系	中央	
	单位组织机构代码	12100000400012211J			
	单位法定代表人姓名	王贻芳			
	单位所属地区	北京市	北京	石景山区	
	电子邮箱	yfwang@ihep.ac.cn			
	通信地址	玉泉路19号乙中国科学院高能物理研究所			
	邮政编码	100049			
相关责任人	课题负责人	姓名	池云龙		
		身份证号码	110108196408039013		
		工作单位	中国科学院高能物理研究所		
		电话号码	010-88235011	手机号码	15611938046
		电子邮箱	chiyl@ihep.ac.cn	邮政编码	100049
		通信地址	北京市石景山区玉泉路19号乙大院中国科学院高能物理研究所主楼		
	财务部门负责人	姓名	周洁		
		电话号码	010-88236230	手机号码	18811679933
		传真号码	010-88236230		
		电子邮箱	zhouj@ihep.ac.cn		
	科研财务助理	姓名	周洁		
		身份证号码	110102197401133089		
		电话号码	010-88236230	手机号码	18811679933
		电子邮箱	zhouj@ihep.ac.cn	微信号	18811679933



课题预算表

表B2 课题编号： 2018YFA0404301 课题名称： 高能环形正负电子加速器关键技术验证 金额单位： 万元

序号	预算科目名称	合计	中央财政资金	其他来源资金
	(1)	(2)	(3)	(4)
1	一、经费支出	974.00	974.00	
2	（一）直接费用	878.19	878.19	
3	1、设备费	456.00	456.00	
4	（1）购置设备费	140.00	140.00	
5	（2）试制设备费	296.00	296.00	
6	（3）设备改造费	20.00	20.00	
7	（4）设备租赁费			
8	2、材料费	116.00	116.00	
9	3、测试化验加工费	76.20	76.20	
10	4、燃料动力费	18.00	18.00	
11	5、差旅/会议/国际合作与交流费	131.10	131.10	
12	6、出版/文献/信息传播/知识产权事务费	20.29	20.29	
13	7、劳务费	51.00	51.00	
14	8、专家咨询费	9.60	9.60	
15	9、其他支出			
16	（二）间接费用	95.81	95.81	
17	二、经费来源	974.00	974.00	
18	（一）中央财政资金	974.00	974.00	/
19	（二）其他来源资金		/	
20	1、地方财政拨款		/	
21	2、单位自有货币资金		/	
22	3、其他资金		/	



设备费——购置/试制设备预算明细表

表B3 课题编号: 2018YFA0404301

课题名称: 高能环形正负电子加速器关键技术验证

金额单位: 万元

填表说明: 1.设备分类: 购置、试制;
2.购置设备类型: 通用、专用;
3.经费来源: 中央财政资金、其他来源资金;
4.试制设备不需填列本表(10)列、(11)列、(12)列、(13)列;
5.设备单价的单位为万元/台套,设备数量的单位为台套;
6.10万元以下的设备不用填写明细。

序号	设备名称	设备分类	功能和技术指标	单价	数量	金额	经费来源	购置或试制单位	安置单位	购置设备类型	主要生产厂家及国别	规格型号	拟开放共享范围
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
1	动态磁测数据采集系统	购置	磁场测量	25.00	1	25.00	中央财政资金	中航易思特	中国科学院高能物理研究所	通用	中国	NI PXI-4462, PXI-1042	内部共享
2	高压电源	购置	电极板馈电200kV	27.00	2	54.00	中央财政资金	北京中检维康电子技术有限公司	中国科学院高能物理研究所	通用	美国Glassman公司	200kV/10mA	内部共享
3	RF屏蔽波纹管	购置	真空安装125+/-25g	10.00	2	20.00	中央财政资金	合肥聚能物理技术开发有限公司	中国科学院高能物理研究所	通用	中国	非标,内截面75mm*65mm	内部共享
4	低场二极磁铁小型实验样机-铁芯方案	试制	样机	24.00	1	24.00	中央财政资金	中国科学院高能物理研究所	中国科学院高能物理研究所				



设备费——购置/试制设备预算明细表

表B3 课题编号: 2018YFA0404301

课题名称: 高能环形正负电子加速器关键技术验证

金额单位: 万元

填表说明: 1.设备分类: 购置、试制;
 2.购置设备类型: 通用、专用;
 3.经费来源: 中央财政资金、其他来源资金;
 4.试制设备不需填列本表(10)列、(11)列、(12)列、(13)列;
 5.设备单价的单位为万元/台套, 设备数量的单位为台套;
 6.10万元以下的设备不用填写明细。

序号	设备名称	设备分类	功能和技 术指标	单价	数量	金额	经费 来源	购置或试 制单位	安置单位	购置设 备类型	主要生 产厂家 及国别	规格型号	拟开放共享范 围
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
5	低场二极磁铁小型实验样机-空心线圈方案	试制	样机	22.00	1	22.00	中央 财政资金	中国科 学院高 能物理 研究所	中国科 学院高 能物理 研究所				
6	低场二极磁铁正式样机	试制	样机	32.00	1	32.00	中央 财政资金	中国科 学院高 能物理 研究所	中国科 学院高 能物理 研究所				
7	磁场测量精密测试台	试制	磁场测量	30.00	1	30.00	中央 财政资金	中国科 学院高 能物理 研究所	中国科 学院高 能物理 研究所				
8	弯转真空盒	试制	束流通道 2*10 ⁻⁷ (- 10)Torr	20.00	2	40.00	中央 财政资金	中国科 学院高 能物理 研究所	中国科 学院高 能物理 研究所				
9	镀膜实验装置	试制	镀TiZrV膜	40.00	1	40.00	中央 财政资金	中国科 学院高 能物理 研究所	中国科 学院高 能物理 研究所				



设备费——购置/试制设备预算明细表

表B3 课题编号: 2018YFA0404301

课题名称: 高能环形正负电子加速器关键技术验证

金额单位: 万元

填表说明: 1.设备分类: 购置、试制;
 2.购置设备类型: 通用、专用;
 3.经费来源: 中央财政资金、其他来源资金;
 4.试制设备不需填列本表(10)列、(11)列、(12)列、(13)列;
 5.设备单价的单位为万元/台套, 设备数量的单位为台套;
 6.10万元以下的设备不用填写明细。

序号	设备名称	设备分类	功能和技术指标	单价	数量	金额	经费来源	购置或试制单位	安置单位	购置设备类型	主要生产厂家及国别	规格型号	拟开放共享范围
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
10	静电分离器真空系统	试制	真空度 2*10 ⁻¹⁰ Torr	30.00	1	30.00	中央财政资金	中国科学院高能物理研究所	中国科学院高能物理研究所				
单价10万元以上购置设备合计					5	99.00	/	/	/	/	/	/	/
单价10万元以上试制设备合计					8	218.00	/	/	/	/	/	/	/
单价10万元以下购置设备合计					11	41.00	/	/	/	/	/	/	/
单价10万元以下试制设备合计					16	78.00	/	/	/	/	/	/	/
累计					40	436.00	/	/	/	/	/	/	/



测试化验加工费预算明细表

表B4 课题编号: **2018YFA0404301**

课题名称: 高能环形正负电子加速器关键技术验证

金额单位: 万元

填表说明: 量大及价高测试化验, 是指课题研究过程中需测试化验加工的数量过多或单位价格较高、总费用在10万元及以上的测试化验加工, 需填写明细。

序号	测试化验加工的内容	测试化验加工单位	计量单位	单价(元/单位数量)	数量	金额
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	真空盒内表面镀膜样品测量	北京化工研究院, 西安交通大学, 深圳市材料表面分析检测中心	套	180000.00	1	18.00
2	静电分离器真空腔室的机械加工、焊接、清洗、测试等	北京高能锐新科技有限公司	套	160000.00	1	16.00
3	静电分离器主电极板的加工、焊接、表面打磨及清洗费用等	北京高能锐新科技有限公司	批	225000.00	1	22.50
量大及价高测试化验加工费合计						56.50
其他测试化验加工费合计						19.70
累计						76.20



单位研究经费支出预算明细表

表B5 课题编号： 2018YFA0404301

课题名称： 高能环形正负电子加速器关键技术验证

金额单位： 万元

填表说明： 1.单位类型分课题承担单位、课题参与单位； 2.组织机构代码指企事业单位国家标准代码，单位若已三证合一请填写单位统一社会信用代码，无组织机构代码的单位填写“000000000”。										
序号	单位名称	组织机构代码-统一社会信用代码		单位类型	任务分工	研究任务 负责人	合计	中央财政资金		其他来源资金
		(1)	(2)					(3)	(4)	
1	中国科学院高能物理研究所	统一社会信用代码	1210000040001 2211J	课题承担 单位	高能环形正负电子 加速器关键技术验证	池云龙	974.00	974.00	95.81	
累计							974.00	974.00	95.81	



预算说明

一、对课题承担单位、参与单位前期已形成的工作基础及支撑条件，以及相关部门承诺为本课题研究提供的支撑条件等情况进行详细说明。

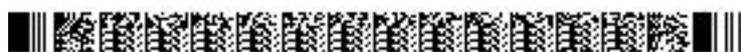
参与本项目的研究人员长期从事加速器磁铁技术的研究，具备深厚的理论功底，并拥有丰富的磁铁设计研制和测量经验，已经完成了 BEPCII 和 CSNS 等项目的磁铁设计和测量。同时申请人所在课题组拥有本申请工作所需的软件和实验条件，包括：多套高精度磁场测量系统，高精度准直系统，高精度磁测电源等，可以精确测量各类磁铁的磁场性能。

高能所实验工厂多年来先后为国内外许多大型加速器工程项目制造了大量的磁铁，在磁铁铁芯和线圈制造工艺方面有相当多的经验。另外，所工厂具备专业化的磁铁生产线，具有设计和制造铁芯叠片冲模、叠装模以及线圈绕线模和浇注模的丰富经验等。

中国科学院高能物理研究所在 BEPC 建设期间，掌握了跑道形铝真空盒的弯管工艺、电火花打孔工艺和铝材料的焊接工艺；BEPCII 研制期间，完成了复杂截面铜真空盒的加工和焊接工艺研究；在 CSNS 真空系统建造中，进行大批量的陶瓷真空盒内表面镀氮化钛工作。其中利用磁控溅射法在弯转陶瓷真空盒内表面镀氮化钛属于国内外首创。

BEPC 曾经设计研制过两套静电分离器，并投入到运行使用。在 2005 年 BEPCII 改造过程中，进行了静电分离器的初步设计，具有一定理论设计基础。试验室拥有进行电场分析的模拟软件，以及机械设计软件，可以进行前期设备参数设计及仿真；高能所工厂具有加速器相关部件的加工制作经验，可以完成静电分离器的腔体和极板加工，另外可以协同物理、磁铁、高频、真空等专业组成员对相关技术难题进行研制与测试。

中国科学院高能物理研究所主导 CEPC 的前期预研，目前已完成概念设计报告(CDR)，CEPC 在 Z 能区的极化束流研究是已有工作的自然扩展，极化束流的并行模拟研究已有小型计算服务器支持。



预算说明

二、对本课题各科目支出主要用途、与课题研究的相关性、必要性及测算方法、测算依据进行详细说明；按照课题进行说明，不需要按照参与单位分别说明，课题承担单位与课题参与单位应协商确定本课题各科目预算的分解情况；如同一科目同时编列中央财政资金和其他来源资金的，请分别说明。

课题经费预算由直接费用和间接费用组成，各科目具体情况如下：

（一）直接费用

1. 设备费：456 万

购置设备费：

- 1) 动态磁场数据采集系统（数据采集精度为万分之一）采购费 25 万：包含 PXI-1042Q 8 槽机箱 2.8 万；PXI-8840 嵌入式控制器 5.7 万；LabVIEW 开发软件平台 5 万；PXI-7354 控制器及 UMI7774 接口器 4.9 万；PXI-4462 动态信号采集卡 4.9 万；PXI-6509 多通道数字 IO 卡及 SCB100 接线盒 1.1 万；电缆等相关附件 0.6 万。动态磁场数据采集系统是将测量线圈感应的磁场电压信号转换为数字信号的必需设备，它的性能和精度将直接影响测量系统最终精度，是磁场测量系统最关键和最核心部件之一。

测算依据：三方报价中最低价为 26.68 万。

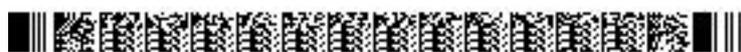
北京恩菲思科技有限公司 26.74 万，联系电话：1324124346

北京和朴电子科技有限公司 27.02 万，联系电话：18500190136

中航易思特（北京）科技有限责任公司 26.68 万，联系电话：13522656720

- 2) 两台 200kV 高压电源（额定电压/电流 200kV/10mA）采购费 54 万；静电分离器中的高压静电场生成，需要使用两台高压电源分别给两个电极板供电。根据静电分离器高压老练需求，电源额定电压/电流需满足 200kV/10mA，电源电压稳定度好于千分之一。根据调研情况，目前国内高压电源电压稳定度只有百分之一左右，因此需要采购国外专业高压电源厂家（glassman）的产品，根据国内代理商的报价，单套电源约 27 万（含税），共 2 套，预算 54 万。

测算依据：三方报价中最低价为 20.25 万人民币（未含税）。



北京三达茂环保科技有限公司, 21.08 万, 联系电话: 18643979307

北京和润恺安科技发展股份有限公司, 21.88 万, 联系电话: 13810194363

北京中检维康电子技术有限公司, 20.25 万, 联系电话: 01088026700

- 3) RF 屏蔽波纹管研制二套 (接触力为 $125 \pm 25 \text{g/finger}$), 每套 10 万元 (含运费), 总预算 20 万。

测算依据: 三方报价中最低价为 9.55 万 (不含运费), 加运费后约 10 万

合肥聚能电物理高技术开发有限公司 9.55 万, 联系电话: 0551-65593111

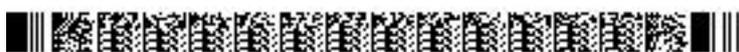
北京蜀州伟业真空科技有限公司 10.3 万, 联系电话: 15611966018

宁波威诺机电有限公司 10.69 万, 联系电话: 0574-87031580

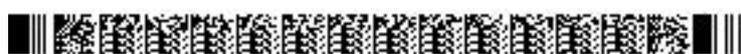
- 4) 小型服务器的购置, 共购置两台, 每台 1.5 万, 总预算 3 万;
- 5) 磁导率仪器购置, 用于测量磁材料的磁导率等, 费用 3 万;
- 6) 用于瞬态磁场计算、铁芯磁滞模拟、磁铁机械及热力学分析等有限元计算的高性能服务器购置 (CPU 核数 ≥ 16 , 内存 $\geq 32 \text{GB}$), 价格约为 3 万元;
- 7) 气体流量控制仪 ($0 \sim 5 \text{ sccm}$), 每台 4 万, 共购置 2 台, 总预算 8 万。气体流量控制仪用于真空盒内表面镀膜时控制输入反应气体流量, 2 台分别控制氮气和氩气, 精度要求高, 由美国 MKS 公司生产。
- 8) 真空计 (检测真空度范围 $760 \sim 10^{-10} \text{ Torr}$), 共购置 4 台, 每台 4 万, 总预算 16 万。真空计 2 台用于镀膜过程反应气体压强测量, 2 台用于真空盒极限真空测量。
- 9) 残余气体分析仪 (检测范围 $1 \sim 100 \text{amu}$), 购置 1 台, 总预算 8 万。用于分析真空中残余气体成分, 国内不生产此设备, 需进口。

试制设备费:

- 1) 试制高精度磁场测量精密测试台 (运动控制精度 3 微米, 位置定位精度 10 微米), 测试台用于精确调整测量线圈到指定磁场待测区域并驱动测量线圈进行相应的切割磁力线运动。磁场数据分析处理需要使用测量线圈的空间位置数据, 因此测试台的移动定位精度直接影响测量结果, 是磁测系统必不可少的设备之一。研制费预算 30 万: 包含大理石工作台 14 万; 编码器及减速机 2 万; 光栅及读数头 1 万/套, 4 套共 4 万; 伺服电机 0.7 万/套, 5 套共 3.5 万, 电控系统 5 万; 防尘罩、电缆、接线盒相关配件 1.5 万。
- 2) 运动控制卡 5 万, 工控机 2 万, 高精度数字万用表 3 万, 霍尔传感器 6 万, 共计 16 万;



- 3) 高精度低场二极磁铁小型实验样机(铁芯方案)(最低工作磁场 60Gs, 磁场精度千分之一)研制: 冲模加工费 5 万, 叠装模 5 万, 绕线模 2 万, 浇注模加工费 3 万, 铁芯制造费用 4 万, 线圈制造费 2 万, 磁铁总装费用 3 万, 合计 24 万;
- 4) 高精度低场二极磁铁小型实验样机(空心线圈方案)(最低工作磁场 31Gs, 磁场精度千分之一)研制: 浇注模 7 万, 绕线模 3 万, 模具费用共 10 万, 线圈骨架加工费 5 万, 线圈制造费 5 万, 装配费用 2 万, 合计 22 万;
- 5) 高精度低场二极磁铁正式样机研制(最低工作磁场 31Gs, 磁场精度千分之一): 包括冲模加工费 5 万, 叠装模 5 万, 绕线模 2 万, 浇注模加工费 3 万, 铁芯制造费 8 万, 线圈制造费 3 万, 磁铁总装费 2 万, 吊装工装及支架加工费 4 万, 总计费用 32 万;
- 6) 弯转真空盒的研制, 其中铜和铝真空盒各 1 根(极限真空小于 2×10^{-10} Torr), 每根 20 万, 总预算 40 万。由于真空盒形状特殊, 需加工真空盒挤压成型模具, 铜和铝真空盒模具费各 10 万, 其余费用为数控加工、电子束焊接和真空清洗等费用。
- 7) 镀膜实验装置包括磁控溅射线圈电源(18A/72V)(5 万)、高压放电电源(0V-500V)(5 万)、线圈和真空盒调整装置(20 万), TiZrV 溅射阴极(10 万)等, 总预算 40 万。线圈电源提供磁场, 高压电源提供电场。为了镀膜均匀和对长真空管进行镀膜需要建立电动传送平台对线圈和真空盒进行位置调整。TiZrV 是镀膜用的三种金属耗材。
- 8) 真空盒抽速测试系统研制, 总预算 8 万(吸气剂膜抽速大于 200L/s.m)。抽速测试系统用来测量镀好的吸气剂膜抽速, 它由测试罩、气体充入装置、阀门和真空测量设备组成。
- 9) 静电分离器真空系统, 预算 30 万。静电分离器的高压静电场是安置在真空腔体内, 便于对正负电子束进行分离。为避免高压击穿打火, 影响设备性能, 造成设备损坏, 进而导致束流丢失, 需要真空腔体内的真空度优于 2×10^{-10} Torr。因此静电分离器需要一套抽真空系统用于静电分离器腔室内部抽真空及真空测量输出。抽真空系统包含分子泵机组一套 14 万; 离子泵, 单价 2 万, 两台, 共 4 万; 钛升华泵, 单价 1 万, 两台, 共 2 万; 真空计, 单价 2 万, 4 只, 共 8 万; 烘烤设备, 单套 1 万, 共 2 套, 共 2 万。总预算共计 30 万。
- 10) 静电分离器水冷系统(最大水压 6 kg/cm², 流速 20L/min), 用于电极板冷却, 预算 6 万; 静电分离器在束流通过时, 由于结构不连续, 会造成束流高次模能量损失,



这些损失的能量会沉积在电极板上，造成电极板发热变形和出气，影响分离器性能和真空度，因此需要一套水冷系统用于电极板冷却。经测算静电分离器的发热量约为2kW，因此设计水冷系统指标为最大水压6 kg/cm²，流速20L/min，水冷系统包括压缩机、水泵、换热器、制冷配件、流量计、控制器、水箱等，预算6万。

11) 电极支撑件（耐压200KV），单件4万，共6件，预算24万；静电分离器的电极板是通过金属陶瓷绝缘支撑件，实现与真空腔体的连接和绝缘的，同时金属陶瓷绝缘支撑件还提供电极板冷却水路的进出通路。为满足静电分离器的支撑和绝缘要求，绝缘支撑件要达到200kV耐压要求，每个电极板安装两个支撑件，因为是在高压条件下工作，因此需准备2个备件，共需要研制6个绝缘支撑件，预算24万。

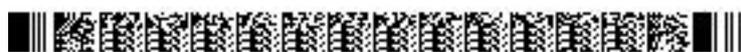
12) 高压穿墙件（耐压200KV），单件6万，共4件，预算24万。静电分离器的高压是通过高压穿墙件由外部电源侧馈送到真空腔体内的电极板上的。静电分离器的老练电压达到直流±160千伏，电压值很高。因此馈电引线的设计和制造将是个难点。高压馈电引线采用模块化设计，便于安装、维护。同时将馈电引线和屏蔽盒这两种结构塑造成一个圆柱体，这样就可以形成一个理想的同轴体，有助于改善电场分布，EMC设计和减少吸收器的体积。每个电极板安装一个高压穿墙件，因为是在高压条件下工作，因此需准备2个备件，共需要研制4个高压穿墙件，预算24万。

设备改造费：20万

1) 磁测电源购置改造：现有磁测电源最大电流为1000安培需要升级改造到2500安培，改造后的电源精度将达到50ppm，电源改造费用20万。

2. 材料费：116万

- 1) 低场二极磁铁小型实验样机软磁材料购买及其热处理，包括无取向硅钢片3吨，2.4万元，取向硅钢片3吨，2.7万元，NiFe合金带2吨，6.4万元，所需费用11.5万；
- 2) 低场二极磁铁正式样机软磁材料购买及其热处理：取向或无取向硅钢片5吨，4.5万元；
- 3) 低场二极磁铁线圈导线购置10万/吨，需要0.7吨，磁铁水接头、配水器、陶瓷管、铁温保护探头等其它部件材料费2万，共计9万。
- 4) 真空镀膜需要氩气和氮气，真空检漏和测试需要氮气、氦气、一氧化碳和氢气，共计9万元。其中氩气 $10 \times 0.12 \text{万} / 40\text{L} = 1.2 \text{万}$ ，氮气 $8 \times 0.5 \text{万} / 40\text{L} = 4 \text{万}$ ，氦气 $20 \times 0.18 \text{万}$

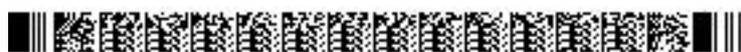


/40L=3.6万，氮气 30×0.03 万/40L=0.9万。

- 5) 弯转真空盒材料费包括铝型材和铜型材 (Al-6061, Cu-TU1) 二种规格, 总计10万元。
弯转真空盒6米长, 需要特制的材料。
- 6) RF屏蔽波纹管主要用到不锈钢和铍铜(SUS316L, C1720)二种材料, 共计10万元。RF屏蔽波纹管结构复杂, 需要不同形状的原材料。
- 7) 磁控溅射线圈由铜材(无氧铜TU1)绕制而成, 材料费总计30万元。铜导线圈材料费(7×7 铜导线) $6m \times 5$ 万/m=30万。(上海克林技术开发公司021-64631770)。
- 8) 静电分离器真空腔室的加工材料, 包括必须的铜材和无磁不锈钢钢材, 所需材料费预算9万;
- 9) 静电分离器主电极板的加工材料, 包括必须的钛金属和无磁不锈钢钢材所需费用9万;
- 10) 2套高阶模吸收器所需加工材料, 预算8万;
- 11) 高压电缆; 各类信号电缆、标准件、真空连接件、真空密封件, 共6万。

3. 测试化验加工费: 76.2万

- 1) 软磁材料的磁性能、机械性能测试费用5万;
- 2) 磁场测试支架、准直靶标等零部件加工费用, 预计5.7万;
- 3) 磁测数据采集板卡、传感器以及准直仪器校准标定费用预算4万;
- 4) 真空盒内表面镀膜样品要进行二次电子发射系数、SEM形貌、XPS成分以及膜的厚度和抽速测量等, 共计18万元(详见明细表)。
- 5) 静电分离器真空腔室的机械加工、焊接、清洗、测试等, 所需费用16万。加工费明细如下:
 - a. 加工1套真空腔冲压模具, 3万元;
 - b. 加工真空腔卡具和工装1套, 3万元;
 - c. 真空腔部件的加工费6万元;
 - d. 真空腔的电子束焊接费用4万元;
- 6) 静电分离器主电极板的加工、焊接、表面打磨及清洗费用等, 所需费用22.5万元。加工费明细如下:
 - a. 加工2套电极板冲压模具(一套备用), 每套2万元, 总计4万;
 - b. 加工电极板卡具和工装1套, 3万元;



- c. 每只电极板部件的加工费2万元，4只总计 8万；
 - d. 电极板的焊接费用每只 1万元，总计 4万；
 - e. 电极板的表面打磨费用，总计 3.5万；
- 7) 静电分离器高阶模吸收器零件加工，共 5 万。

4. 燃料动力费：18 万

用于本项目实施过程中的电费开支，其中：

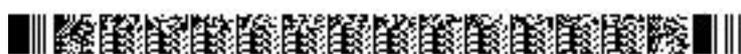
- 1) 各种小型实验样机及正式样机功耗大约 6 千瓦，实验及磁铁性能测试时间大约 600 天。预计总耗电费用为 $600 \text{ 天} \times 8 \text{ 小时 / 天} \times 0.94 \text{ 元 / 千瓦时} \times 6 \text{ 千瓦} = 2.7 \text{ 万元}$ ；
- 2) 使用磁测系统对磁铁样机进行磁场测量，其电费为 $500 \text{ 天} \times 24 \text{ 小时 / 天} \times 0.94 \text{ 元 / 千瓦时} \times 3 \text{ 千瓦} = 3.3 \text{ 万元}$ ；
- 3) 真空洁净间空调和风机以及相关的实验设备运行时耗电功率约 10 千瓦，每年用于本项目研究的时间为 240 天，每天工作 8 小时，电费每度 0.94 元，五年燃料动力费共计 $0.94 \text{ 元 / 度} \times 10 \text{ 度 / 小时} \times 8 \text{ 小时 / 天} \times 240 \text{ 天 / 年} \times 5 \text{ 年} = 9 \text{ 万元}$ ；
- 4) 提供真空泵的运行，以及冷却系统的运作，预计的使用时间为 $400 \text{ 天} \times 8 \text{ 小时 / 天} \times 0.94 \text{ 元 / 千瓦时} \times 10 \text{ 千瓦} = 3 \text{ 万元}$ 。

5. 出版/文献/信息传播/知识产权事务费：20.29 万

- 1) 购买国内图书 45 本，共计 4500 元，购买国外专业图书 23 本，共计 18400 元，合计 2.29 万元。
- 2) 五年发表文章 13 篇，版面费 $10 \times 0.3 + 2 \times 0.5 + 1.8 = 5.8 \text{ 万元}$ 。
- 3) 束流极化子课题基于 Mathematica 进行极化束流理论分析及模拟。购买 2 个 Mathematica 正版软件序列号，根据 Wolfram 公司的官方报价，一个 standard desktop/Cloud 序列号 2700 美元，增值税率 17%，合计人民币 2.1 万元/个。合计 $2.1 \text{ 万 / 个} \times 2 \text{ 个} = 4.2 \text{ 万元}$ 。

6. 其他支出

无



7. 差旅费、会议费、国际合作与交流费、劳务费、专家咨询费

差旅费：40.6 万

1) 国内学术会议交流费

高级专业技术人员5000 元/人次，研究生2500元/人次，共5000元/人次×22人次+2500元/人次×16人次=15万。

2) 国内外埠差旅费

项目研究人员驻厂、测试及验收，共5000元/人次×20人次+4000元/人次×30人次=22万。

3) 市内交通费

按每人200元计，共计180人次，合计3.6万。

会议费：18.5 万

1) 加速器磁铁电源技术研讨会6次，每次3天，参加人数10人，会议费按500元/天人的标准计算，总费用为500元×3天×10人×6次=9万元。

2) 真空盒镀膜研讨会1次，每次2天，参加人数30人，共计500元/人/天×2天×30人=3.0万。

3) 静电分离器会议费2.7万元。

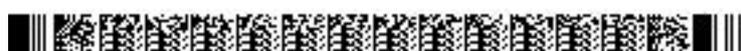
4) 束流极化国际研讨会1次，每次2天，参加人数18人，会议费按500元/天人的标准计算，总费用为500元×2天×18人×1次=1.8万元。

5) 束流极化国际评审会2次，每次2天，参加人数10人，会议费按500元/天人的标准计算，总费用为500元×2天×10人×2次=2万元

国际合作与交流费：72 万

1) 国际会议费：40 万元

本课题拟参加的国际会议包括国际磁工会议（MT），国际磁测会议（IMMW），参加的国际会议为大型真空系统运行会议（OLAV），国际自旋物理大会（SPIN）和国际粒子加速器会议（IPAC）等都是国际上本研究领域的重要会议，参加上述会议对于本课题研究内容的开展和学生培养很有必要。参会单位包含了国际上各个知名的加速器研究机构，参会人数都超过200人，因此，每次会议本课题拟安排1-2人参加，并做1-2个口头报告和若干墙报。国际学术会议平均注册费约500美元/次，往返旅费12000元机票/人次，住宿费或杂费共



计 1500 元/天，每次会议按照 5 天，往返合计 7 天，合计约 7 天×1500 元食宿公杂/天+12000 元机票+3000 元注册费=2.5 万元/人次。

五年参加的国际会议有 2019 年 MT 国际会议，计划派 2 人参加；2019 年 IMMW 国际会议，计划派 1 人参加；2019 年 OLAV 大会，计划派 1 人参加；2019 年 IPAC 大会，计划派 1 人参加；2019 年 SPIN 大会，计划派 1 人参加；2020 年 IPAC 大会，计划派 2 人参加；2020 年 OLAV 大会，计划派 1 人参加；2021 年 MT 国际会议，计划派 1 人参加；2021 年 IMMW 国际会议，计划派 1 人参加；2021 年 SPIN 大会，计划派 1 人参加；2021 年 OLAV 大会，计划派 1 人参加；2022 年 IPAC 大会，计划派 2 人参加；2022 年 OLAV 大会，计划派 1 人参加。

本课题五年参加的国际会议合计 16 人次×2.5 万元/人次=40 万元。

2) 邀请国外专家访问：32 万元

本课题研究内容较多，难度较大，而且 CEPC 有多个国家参与预研、倡导国际合作，因此，有必要邀请国外专家来华进行学术交流。拟计划邀请国外专家来华总计 14 人次，每人每次 2 万元，总计 28 万元。测算依据如下：往返交通费机票 12000 元，住宿费 700 元/天，伙食费杂费 300 元/天，每次平均计 8 天×食宿 1000 元/天+机票 12000 元=2 万/人次。

邀请专家明细如下表：

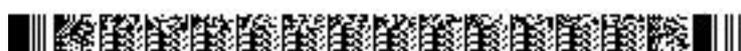
人次	单位	研究领域
3	欧州核子研究中心 (CERN)	磁铁设计，磁场测量
2	日本高能加速器研究机构 (KEK)	真空盒、RF 屏蔽波纹管
1	欧州核子研究中心 (CERN)	真空盒内表面镀膜
3	欧州核子研究中心 (CERN)	静电分离器技术
5	俄罗斯 Budker 研究所 (BINP)	束流极化合作研究

劳务费：51 万

劳务费预算应结合当地实际以及相关人员的参与项目的全时工作时间等因素合理编制，无比例限制。临时聘用人员的社会保险补助纳入劳务费科目中列支。

参与项目工作博士研究生 8 名。博士研究生 1500 元/月/人，每年工作 10 个月，工作 3 年。1500 元/月×10 月×8 人×3 年=36 万。

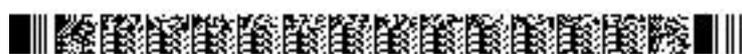
临时聘用人员：5000 元/月×5 月×3 人×2 年=15 万元。



专家咨询费：9.6 万

支付给临时聘请的咨询专家的费用，2400 元/人/天，以会议形式邀请专家。共计 40 人次，总计 9.6 万。

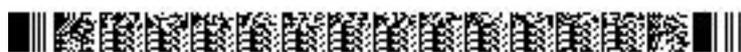
（二）间接费用：95.81 万



预算说明

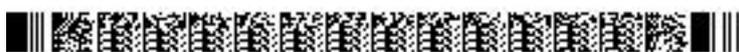
三、其他资金来源说明（需说明资金的来源、用途）

无



十一、相关附件

1. 乙方与参加单位有关协议（须加盖乙方与参加单位公章、法人签字签章；协议文件须扫描上传。如无参加单位，则不填）；
2. 申报指南规定的其他附件。



任务书签署

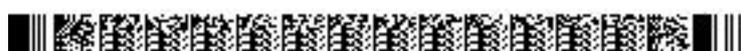
甲乙双方根据《国务院关于改进加强中央财政科研项目和资金管理的若干意见》(国发[2014]11号)、《国务院印发关于深化中央财政科技计划(专项、基金)管理改革方案的通知》(国发[2014]64号)、《科技部 财政部关于印发〈国家重点研发计划管理暂行办法〉的通知》(国科发资[2017]152号)、《财政部 科技部关于印发〈国家重点研发计划资金管理办法〉的通知》(财科教[2016]113号)、《科技部财政部关于印发〈中央财政科技计划(专项、基金等)监督工作暂行规定〉的通知》(国科发政[2015]471号)等有关文件规定,以及有关法律、政策和管理要求,依据项目立项通知,签署本任务书。

项目牵头承担单位(甲方):

法定代表人签字(签章):

(公章)

年 月 日



项目负责人签字（签章）：

年 月 日

课题承担单位（乙方）：

法定代表人签字（签章）：

（公章）

年 月 日

课题负责人签字（签章）：

年 月 日

