

超级陶粲装置 (STCF) 进展与规划

彭海平 (代表STCF工作组)
中国科学技术大学

2026年07月14日 广州



1. 项目简介

2. 项目科学目标

3. 关键技术攻关与预研进展

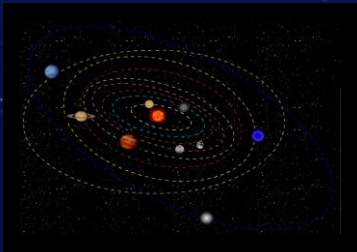
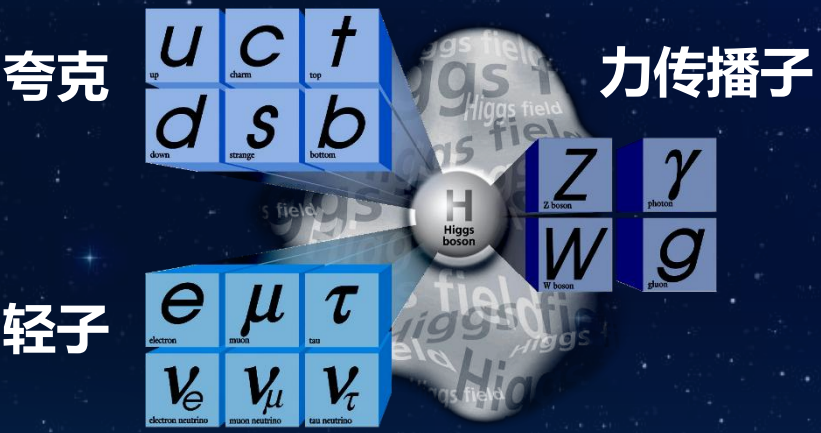
4. 项目组织

5. 十五五申报与下一步规划

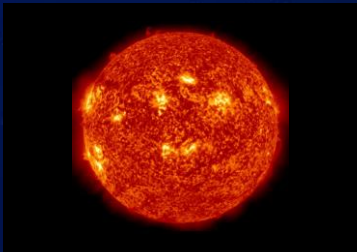
6. 总结

粒子物理的标准模型及其面临的重大挑战

标准模型：描述物质世界的基本单元及其相互作用



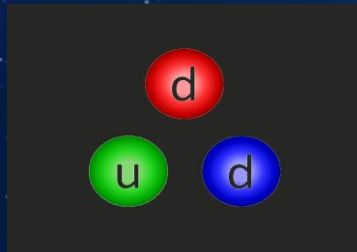
万有引力
强度 = 1



弱相互作用力
强度 = 10^{25}



电磁力
强度 = 10^{36}



强相互作用力
强度 = 10^{38}

标准模型面临的重大挑战

为什么宇宙正反物质不对称？

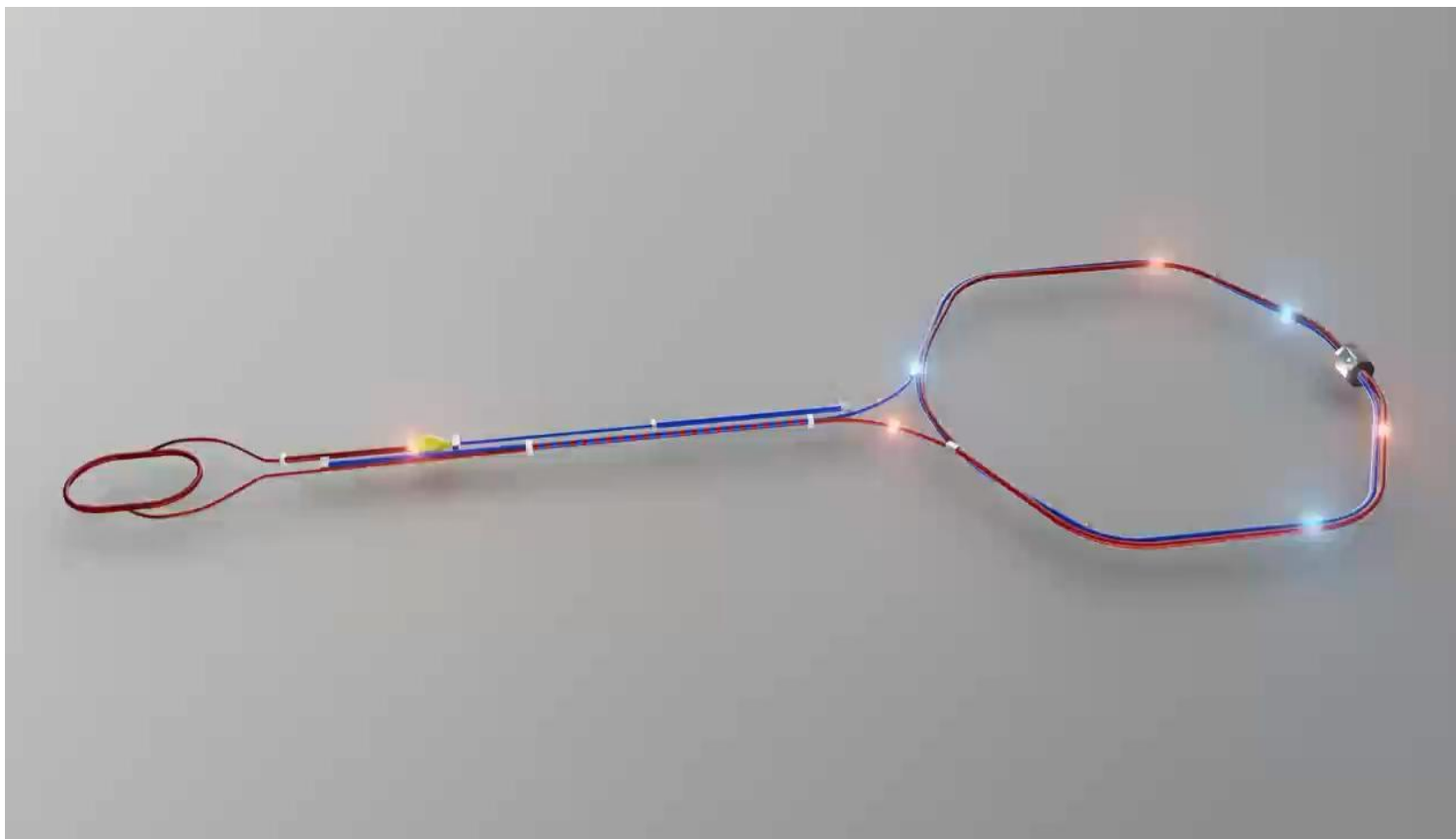
夸克为什么囚禁在物质中？

夸克如何形成物质？

物质深层次结构是什么？

诺奖得主David Gross：
夸克形成物质的过程（强子化）是量子场论重大未解决难题





对撞机

高的**能量**产生重的粒子
高的**亮度**产生多的粒子

探测谱仪

精确**测量**和**鉴别**产生粒子
揭示物质的深层次结构

不同能量的对撞机研究不同层次的微观结构，不可替代

新一代正负电子对撞机：超级陶粲装置 STCF

STCF 超级陶粲装置
Super Tau-Charm Facility

前瞻引领型新一代正负电子对撞机实验装置

国际高亮度前沿核心装置之一

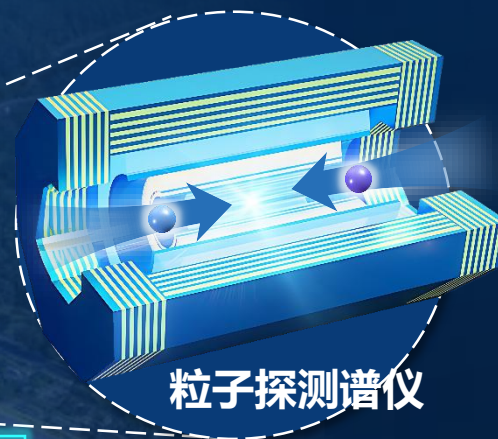
总预算：49.6 亿元

正电子阻尼环
150米

多段直线加速器总长
550米

正负电子双对撞环
860米

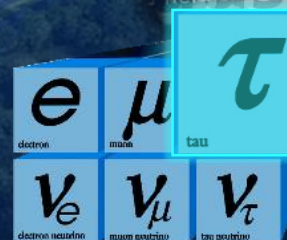
质心能量：2-7 GeV, 对撞亮度 $> 0.5 \times 10^{35} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ @ 4 GeV



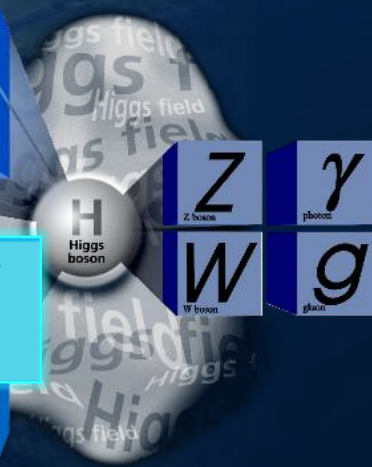
夸克



轻子



传播子



超高亮度
超宽连续可调能区

超高精度、超快响应
粒子探测与鉴别

超丰富
物理频谱

产生比现有装置高两个
量级的粲夸克和陶轻子

国际顾问委员会评审结论

国际顾问委员会 (IAC)
由22位知名专家学者组成

2025年6月，国际顾问委员会通过两天现场汇报和考察，给出评审结论

Guy Wilkinson	牛津大学 (英)
F. Zimmermann	欧洲核子中心 (瑞士)
Marica Biagini	弗拉斯卡蒂国家实验室 (意)
Ikaros Bigi	圣母大学 (美)
Alexander Bondar	布德科尔核物理研究所 (俄)
Tom Browder	夏威夷大学 (美)
赵光达	北京大学
高原宁	北京大学
Wolfgang Gradl	美茵茨大学 (德)
David Hitlin	加州理工学院 (美)
Tord Johansson	乌普萨拉大学 (瑞典)
Marek Karliner	特拉维夫大学 (以)
Eugeniy Levichev	布德科尔核物理研究所 (俄)
马余刚	复旦大学
Mikihiko Nakao	高能加速器研究机构 (日)
Stephen Olsen	中央大学 (韩)
Alexey Petrov	南卡罗来纳大学 (美)
Antonio Pich	瓦伦西亚大学 (西)
Makoto Tobiyama	高能加速器研究机构 (日)
赵红卫	中国科学院近代物理所
赵振堂	中国科学院上海高研院
邹冰松	中国科学院理论物理所

Report of third meeting of International Advisory Committee for the Super Tau Charm Facility

Maria Enrica Biagini¹, Ikaros Bigi², Alex Bondar³, Tom Browder⁴, Kuang-Ta Chao⁵, Yuanning Gao⁶, Wolfgang Gradl⁷, David Hitlin⁸, Tord Johansson⁹, Marek Karliner¹⁰, Eugeny Levichev¹¹, Yugang Ma¹², Mikihiko Nakao¹³, Stephen Olsen¹⁴, Alexey Petrov¹⁵, Antonio Pich¹⁶, Makoto Tobiyama¹⁷, Guy Wilkinson¹⁸, Hongwei Zhao¹⁹, Zhentang Zhao²⁰, Frank Zimmermann²¹, Bingsong Zou²²

¹ INFN - Frascati National Laboratories, ² University of Notre Dame, ³ Budker Institute of Nuclear Physics (BINP), ⁴ University of Hawaii, ⁵ Peking University, ⁶ Johannes Gutenberg University Mainz, ⁷ California Institute of Technology, ⁸ Uppsala University, ⁹ Tel Aviv University, ¹⁰ Fudan University, ¹¹ High Energy Accelerator Research Organization (KEK), ¹² Chang An University, ¹³ University of South Carolina, ¹⁴ University of Valencia, IFIC, ¹⁵ University of Oxford, ¹⁶ Institute of Modern Physics, CAS, ¹⁷ Shanghai Advanced Research Institute, CAS, ¹⁸ European Organization for Nuclear Research (CERN), ¹⁹ Tsinghua University.

²² Co-chairs.

1 Introduction

The International Advisory Committee (IAC) for the Super Tau Charm Facility (STCF) met for the third time on 9th and 10th June 2025 at USTC, Hefei, with several members participating remotely. Members of the STCF project were in attendance, and presentations were given on the project as a whole, on the progress with the physics studies, the accelerator and the detector. Parallel discussion sessions followed on the physics and detector, and on the accelerator. A visit took place to the proposed site of STCF at the Hefei Future Big Science City. The second day concluded with further discussions in plenary, and then a wrap-up session.

The IAC meeting was preceded by a day-long review of the Conceptual Design Report (CDR) of the accelerator, which was conducted by a committee that included the machine experts of the IAC, plus additional experts from around the world. Several key recommendations on various parts of the accelerator design are presented in this report. A more complete set of observations and recommendations are provided in the separate report from the Accelerator CDR Review.

2 Executive summary

STCF will be a unique facility with a broad and impressive physics reach. It will allow for results of world-leading precision in many important topics, and has significant discovery potential. It will ideally complement the other facilities and has significant discovery potential for the 2030s and 2040s, and will be of great interest to the international particle physics community. The principal challenge to the project lies in the accelerator. Here the intended luminosity will exceed by two orders of magnitude that previously achieved in the same energy regime.

The IAC is pleased to note the substantial progress made in physics, detector and accelerator studies since the last review in October 2024. An accelerator CDR has been written, which was reviewed immediately prior to the IAC meeting. Progress on both the accelerator and the detector has been aided by a growth in the number of Chinese institutes involved in the project

... (TDRs).
... very high scientific merit of the project. It congratulates the
... made over the past year. Although substantial challenges
... siders that STCF will be able to achieve its goals, and
... it the facility will be capable of delivering world-leading
... range of extremely important fundamental questions.

... ments and recommendations
... and recommendations that concern both physics and the

... h in the STCF physics programme that may benefit from
... polarisation is not foreseen for the initial phase of STCF
... goal for a second phase of operation. It may be, however,
... the design for the first-phase machine, to keep this option

... Physics and Detector TDR includes discussion of which
... polarisation, and quantifies the gains that this will bring,
... isation remains a long-term goal of the project;

... understood whether any features of the machine layout
... of polarisation in the longer term, e.g. lack of space for
... AC is not suggesting that significant resources be devoted
... project approval.

... n be m
... ould b
... ance fo

... machine
... compli
... ons to the design, and if the physics reach is
... be signi
... ntly enhanced by two detectors with different

... le bene
... n, that
... e with

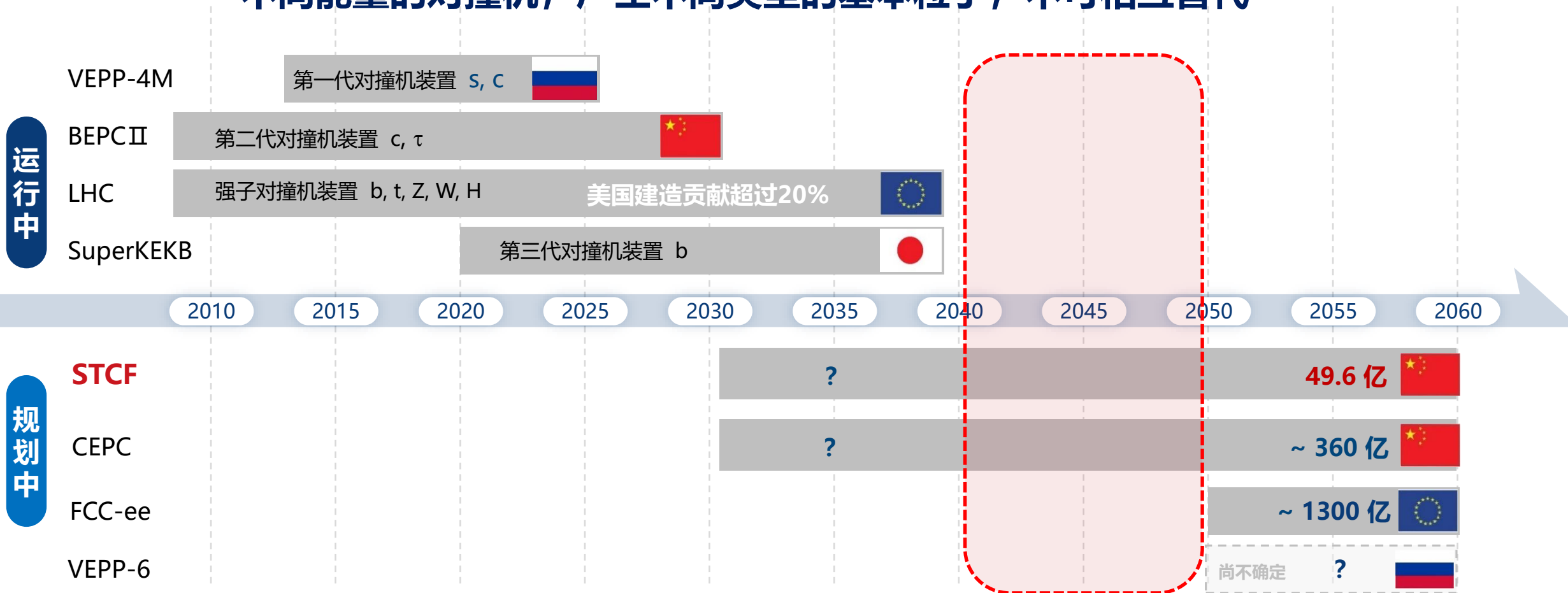
... should i
... ascerta
... s for the

... ation being
... e measurement of the tau mass.

..... 为国际粒子物理界提供一台可产
出世界领先物理成果先进设施，解答
一系列极其重要的基础科学问题

STCF将成为一个独特的、具备丰富和重大物理的
装置。将能够在诸多重要方向取得世界领先精度
的物理成果，具备显著的科学发现潜力

不同能量的对撞机，产生不同类型的基本粒子，不可相互替代



约 10 年窗口期成为全球**唯一运行**的对撞机，引领世界陶粲物理 30 年

1. 项目简介

2. 项目科学目标

3. 关键技术攻关与预研进展

4. 项目组织

5. 十五五申报与下一步规划

6. 总结

-
- Sum of exclusive channels
 pQCD+ ψ and ψ' s
- 近百倍亮度, 以高精度取得重大发现**
首次发现超子 CP 破坏
发现新强子物质, 建立强子周期表
- 开辟新能区**
以拓新取得重大突破
揭秘夸克如何构成物质
- 对撞能量 [GeV]**

R值、陶轻子质量
电磁、强跑动耦合常数
CKM矩阵元

现有 CP 破坏实验测量值无法解释宇宙中正反物质不对称来源

夸克层次的CP破坏研究现状

第一代	第二代	第三代
上夸克 (Up)	粲夸克 (Charm)	顶夸克 (Top)
第一代强子CP破坏预言远低于当前实验能力	粲介子: 2009年LHCb实验发现, CP破坏量级 $O(10^{-3})$, 标准模型预言范围内	寿命极短, 无法形成强子即发生衰变, 无“顶强子”CP不对称性。
	粲重子: 实验未发现CP破坏, 标准模型预言 $O(10^{-4})$, 新物理 $O(10^{-3})$	
下夸克 (Down)	奇异夸克 (Strange)	底夸克 (Bottom)
第一代强子CP破坏预言远低于当前实验能力	奇异介子: 1964年实验发现, CP破坏量级 $O(10^{-3})$, 标准模型预言范围内, 1974年诺奖	底介子: 2001年Babar/Belle实验发现, CP破坏量级 $O(0.1)$, 标准模型预言范围内, 2008年诺奖
	奇异重子: 实验未发现CP破坏, 标准模型预言 $O(10^{-4} - 10^{-5})$, 新物理 $O(10^{-3})$	底重子: 2025年LHCb实验发现, CP破坏量级 $O(0.1)$, 标准模型预言范围内
目前仅剩奇异重子和粲重子的CP破坏没有实验发现, 有新物理存在的空间, 是强子物理最后未被开垦的前沿之一		

STCF CP 破坏研究

装置特色及优势

大统计量、干净样本
量子关联及极化
阈值效应及味道标记

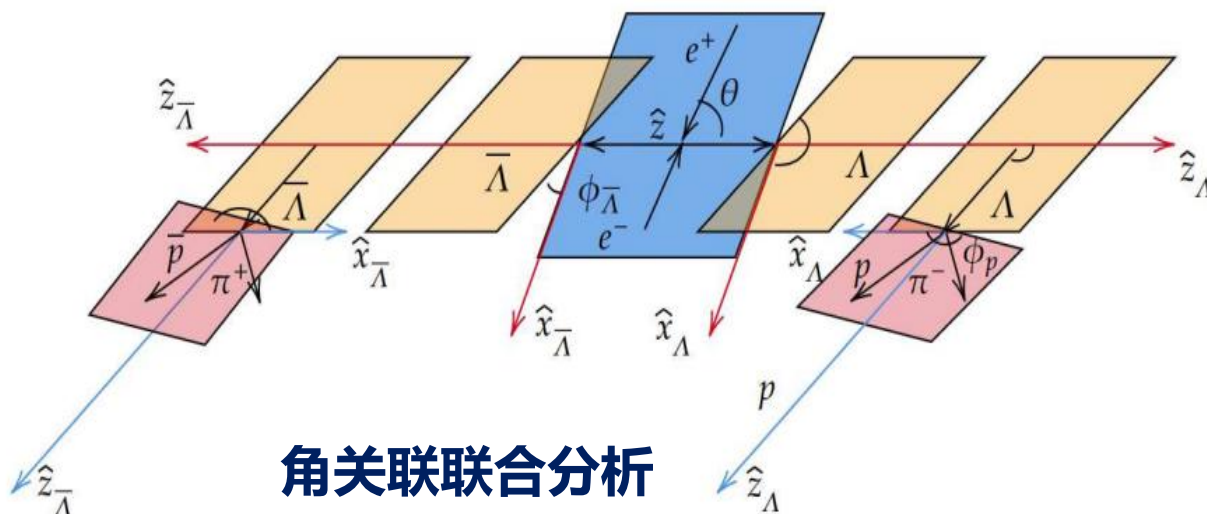
关键物理课题

超子和陶轻子的 CP 破坏测量
超子和陶轻子的 EDM 寻找
 $K^0 - \bar{K}^0$ 系统的 CPT 破坏研究
陶轻子和强子的稀有破坏寻找

STCF 将首次观测超子 CP 破坏, 为研究 CP 破坏、检验标准模型提供独特场所

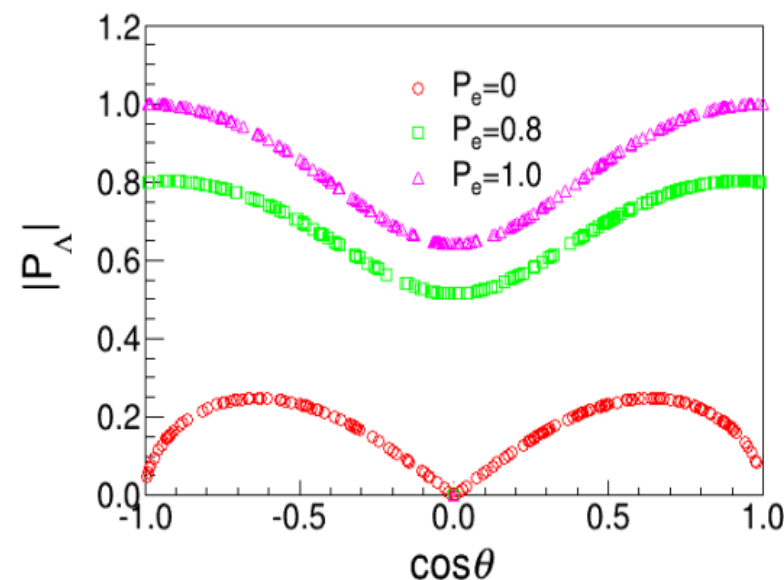
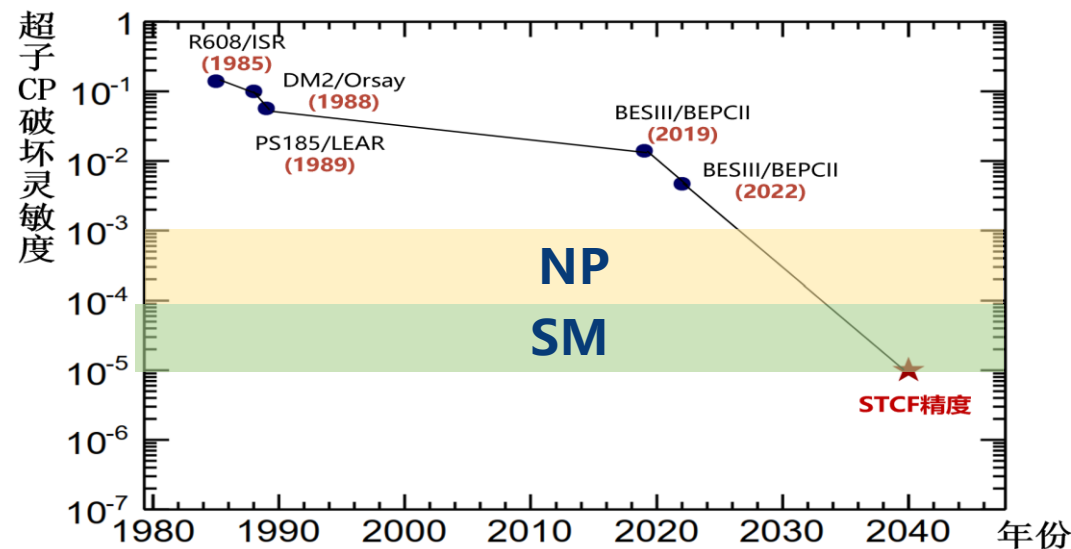
超子电荷宇称破缺CPV

粲夸克偶素衰变到超子对具有量子关联和极化的特性，
极大提升探测超子 CP 破坏的灵敏度



角关联联合分析

- STCF一年 J/ψ 数据量 (3.4×10^{12}) 实现 10^{-5} 的测量精度，将首次观测到超子的 CP 破坏
- 束流极化将进一步提升测量灵敏度

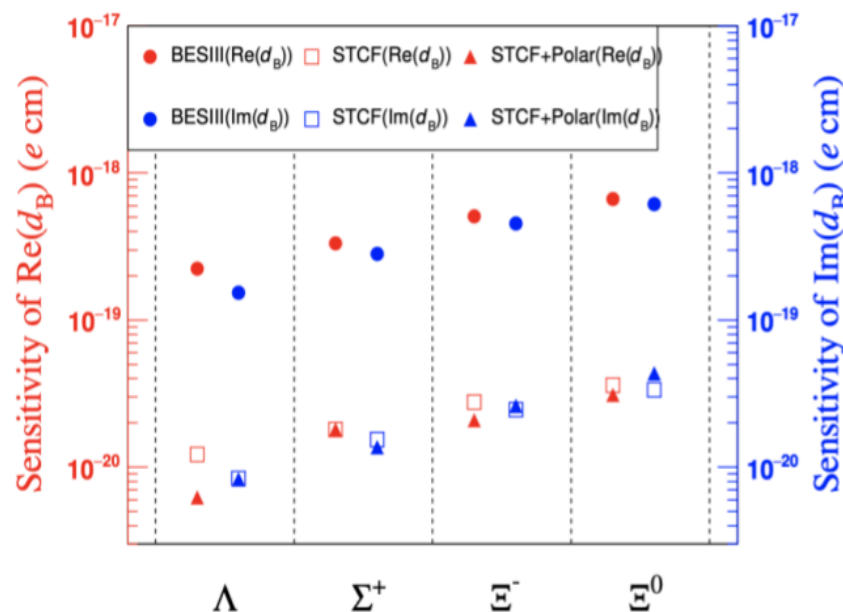
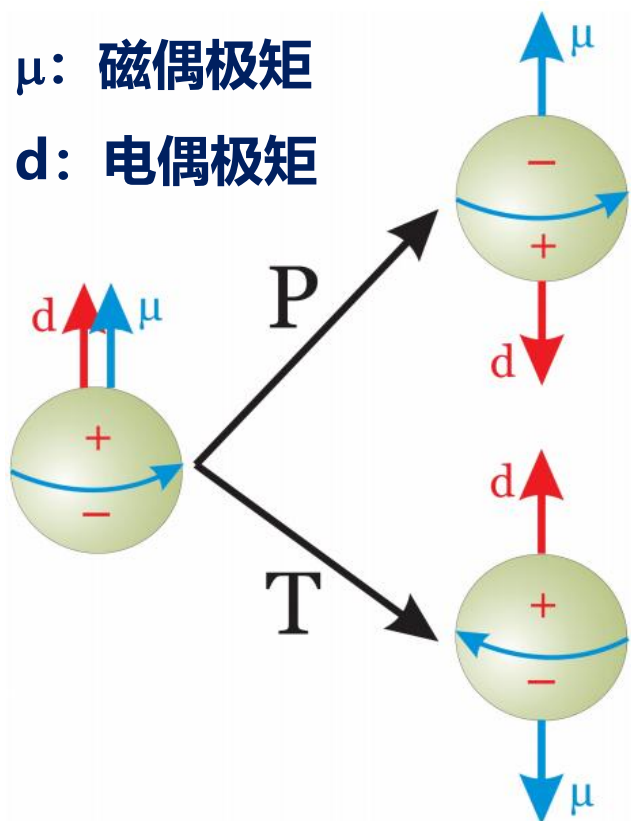


非零电偶极矩会破坏时间反演对称性，可间接证明 CP 破坏的存在

$$\mathcal{A} = \epsilon_\mu(\lambda) \bar{u}(\lambda_1) \left(F_V \gamma^\mu + \frac{i}{2M_\Lambda} \sigma^{\mu\nu} q_\nu H_\sigma + \gamma^\mu \gamma^5 F_A + \sigma^{\mu\nu} \gamma^5 q_\nu H_T \right) v(\lambda_2)$$

μ : 磁偶极矩

d : 电偶极矩



(a) Sensitivity of $Re(d_B)$ and $Im(d_B)$

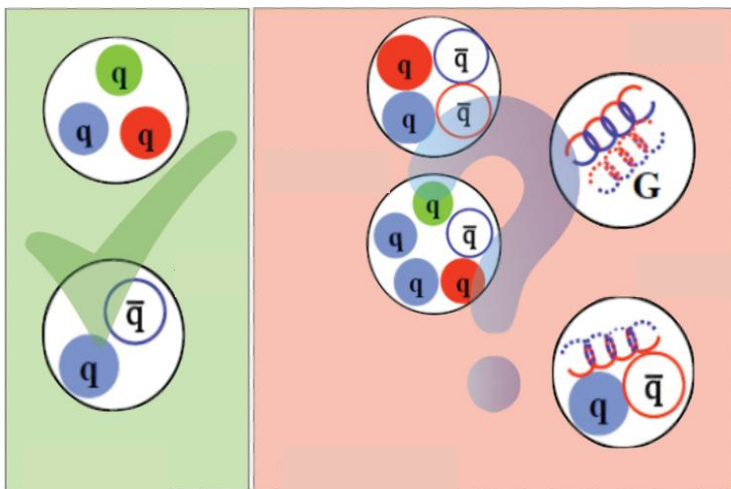
SM: $\sim 10^{-26} e cm$

BESIII: milestone for hyperon EDM measurement
 Λ $10^{-19} e cm$ (FermiLab $10^{-16} e cm$)
 first achievement for Σ^+, Ξ^- and Ξ^0 at level of $10^{-19} e cm$
 a litmus test for new physics

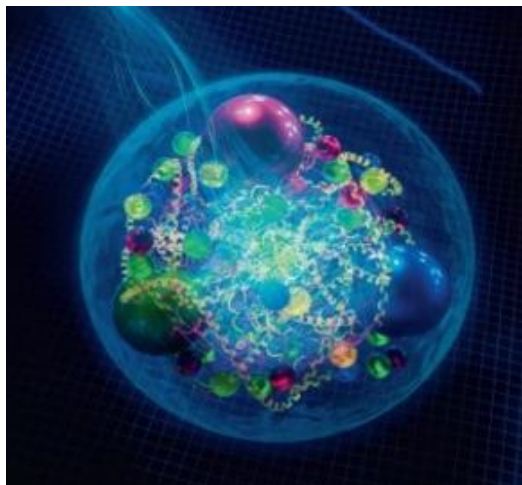
STCF: improved by 2 order of magnitude

STCF 将开展超子全家族的 EDM 研究，灵敏度提升2个量级，实现国际最高精度

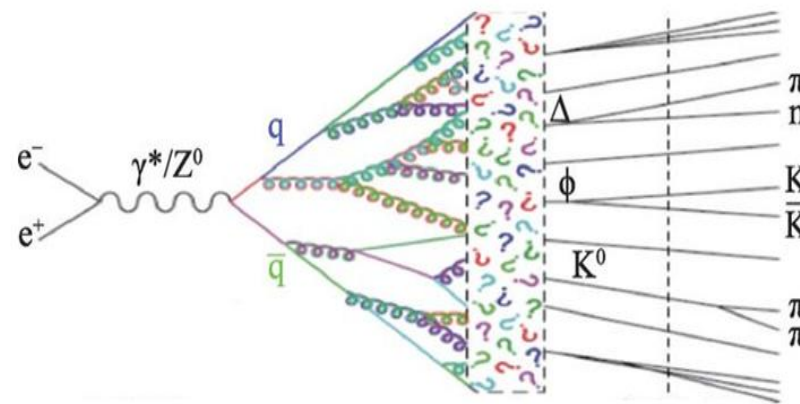
量子色动力学非微扰效应已成为精确检验标准模型和探索新物理的瓶颈



强子谱学及奇特态



核子结构及形状因子



碎裂函数及能量关联

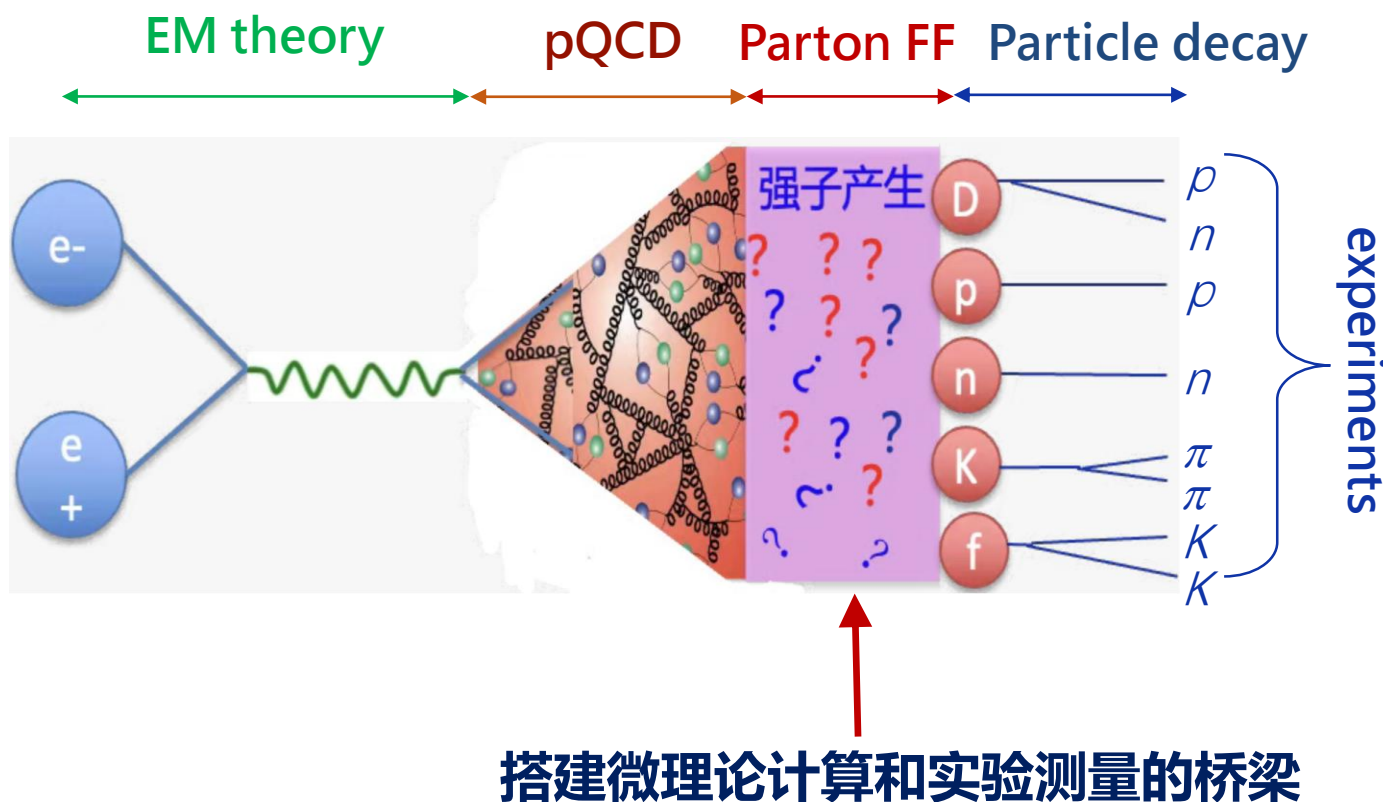
装置特色及优势： 强子结构与谱学丰富、阈值效应突出、强子化特征显著、统计量大

STCF 独特能区，为破解色禁闭难题、实现夸克形成物质过程演化成像提供独特环境

碎裂函数与能量关联函数

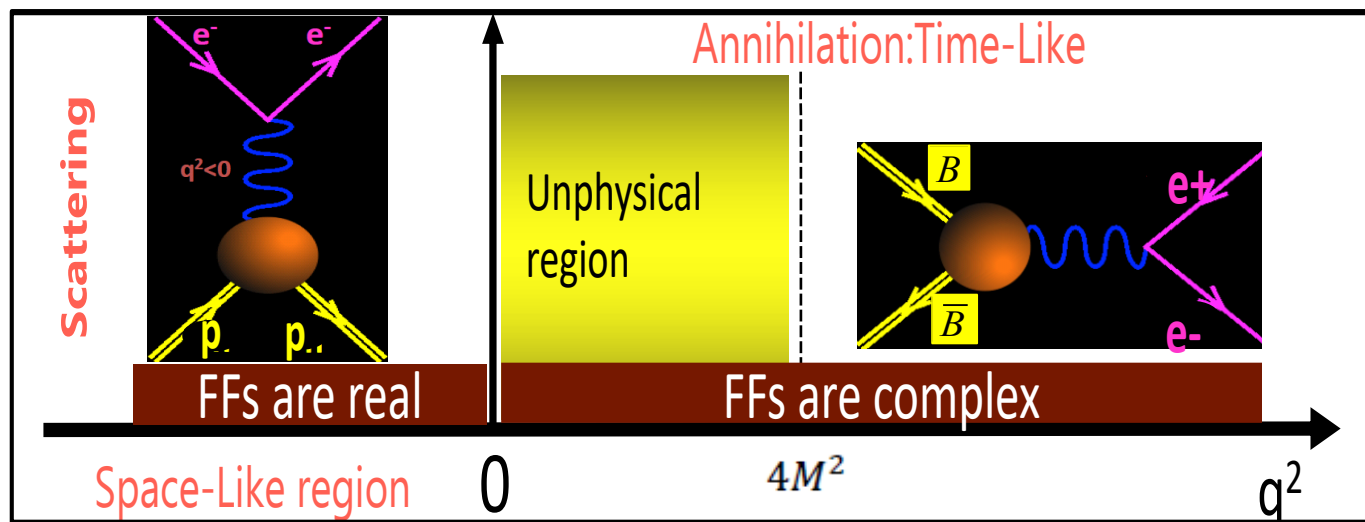
- 碎裂函数：描述部分子碎裂产物中**观测到强子的概率**，无法直接理论计算
- 能量关联函数：表征强子化过程中**能量权重分布特性**，具有红外安全和共线安全特性

两套**独立且高度互补**的检验 QCD
研究途径，构建强子化过程的**多维
层析成像**研究体系



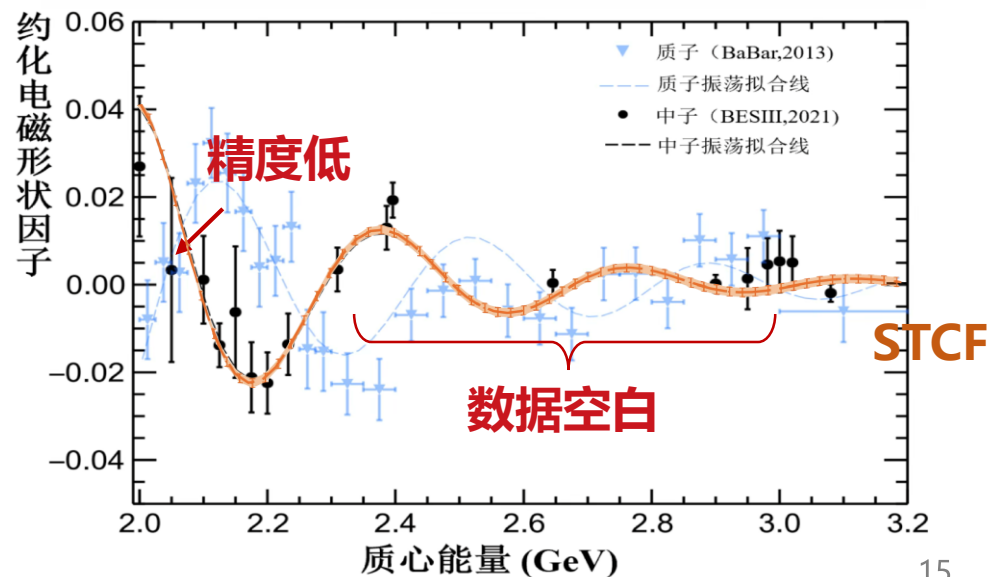
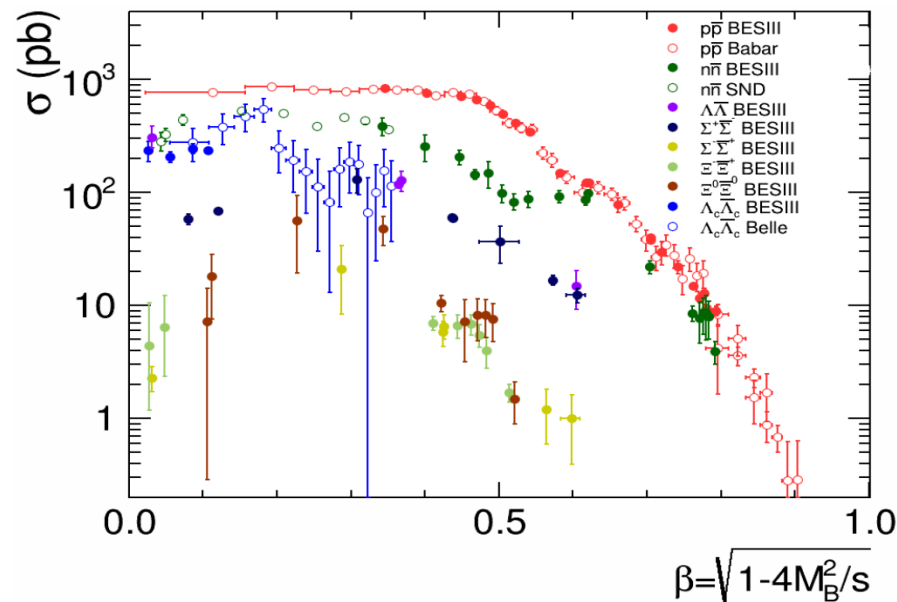
STCF 运行于**强子化效应最显著的能区**，将积累**完备的强子化测量数据**，**首次实现**部分子生成强子物质动力学演化的**层析成像**表征

核子结构与电磁形状因子



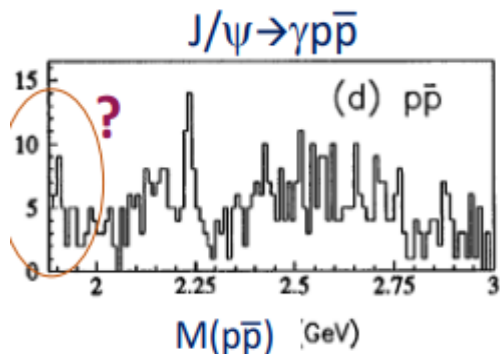
EIC/EicC $\longleftrightarrow$ STCF

- 电磁形状因子是核子最基本可观测量之一，揭示核子内部**电荷与磁矩分布**，是解析核子微观结构的核心探针
- 依托阈值效应与超高亮度两大优势，STCF 将开展**最高精度（1%）**类时电磁形状因子测量，揭示在产生阈值处的**反常截面与中子振荡行为**的动力学机制



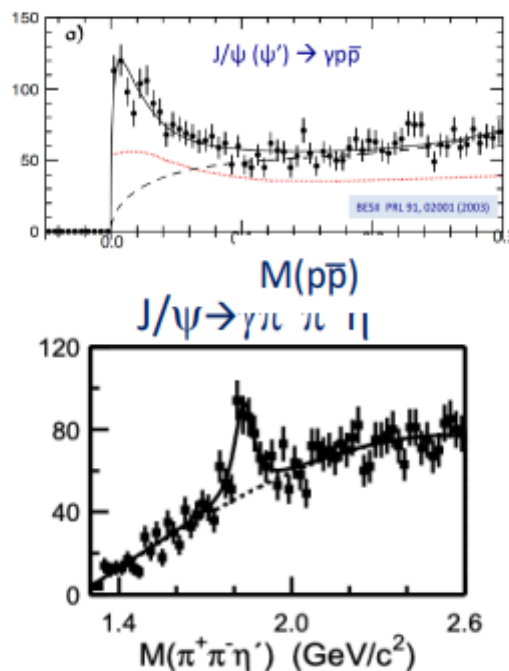
强子谱学与奇特强子态

1996: 8 M J/ψ 's



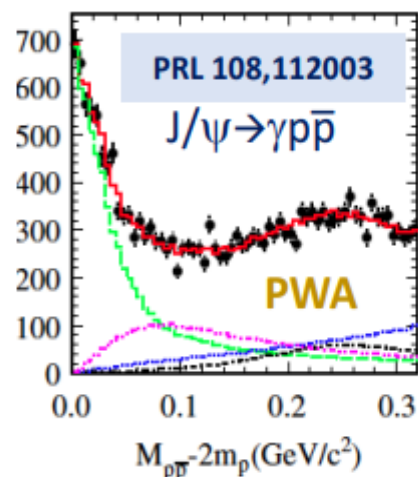
PRL 76, 3502

2002: 58 M J/ψ 's



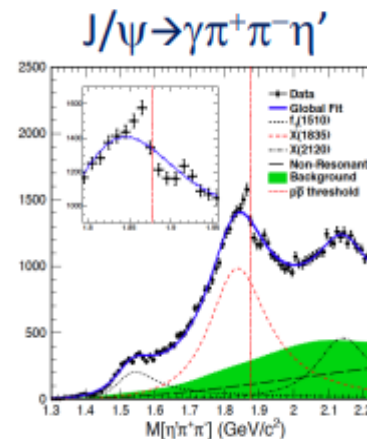
PRL 95, 262001

2011: 225 M J/ψ 's



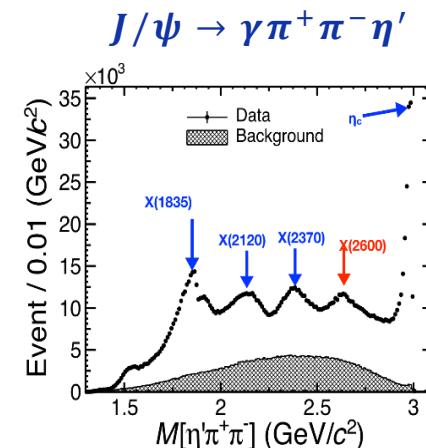
PRL 106, 072002

2016: 1.3 B J/ψ 's



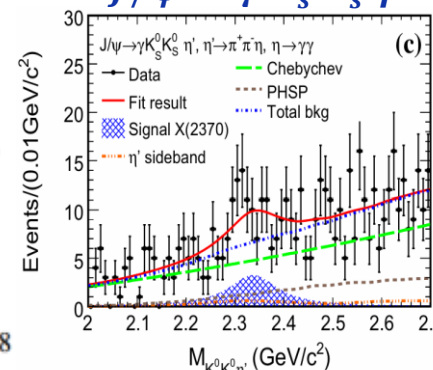
PRL 117, 042002

2022: 10 B J/ψ 's



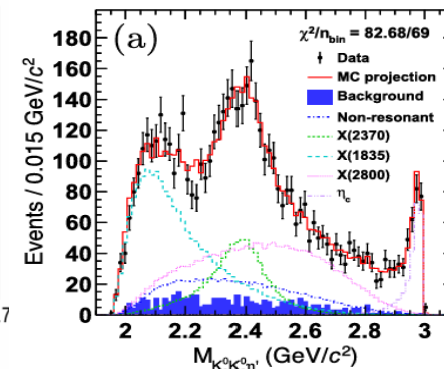
PRL 129, 042001

$J/\psi \rightarrow \gamma K_S^0 K_S^0 \eta'$



EPJC 80, 746

$J/\psi \rightarrow \gamma K_S^0 K_S^0 \eta'$



PRL 132.181901

- 近年来进展重大，突破前黎明
- 独特能区、巨大统计量，在全能区建立完整强子谱系，有望构建“强子周期表”

$0^- +$ Pseudoscalar Glueball-like

基本物理量/基本参数的精确测量，是高精度检验标准模型，探索新物理的重要途径

- R 值测量**：最基本的物理量之一，直接反映夸克的味道和颜色，发现新粒子，是精细结构常数和缪子反常磁矩的理论计算的实验输入
- 陶轻子质量**：对于轻子普适性的精确检验具有重要意义
- CKM 矩阵元**：是否只有三代夸克？么正性的破坏意味着第四代夸克的存在
- 强耦合常数 α_s** ：直接影响希格斯物理、电弱物理、顶夸克物理理论预言，对理解电弱真空的稳定性具有重要意义

Observable	BESIII (2020)	Belle II (50 ab ⁻¹)	STCF (1 ab ⁻¹)
<i>Charmonium(like) spectroscopy:</i>			
Luminosity between 4-5 GeV	20 fb ⁻¹	0.23 ab ⁻¹	1 ab ⁻¹
<i>Collins fragmentation functions:</i>			
Asymmetry in $e^+e^- \rightarrow KK + X$	0.3 [470]	–	< 0.002 [471]
<i>CP violations:</i>			
A_{CP} in hyperon	0.014 [26]	–	0.00023
A_{CP} in τ	–	$\mathcal{O}(10^{-3})/\sqrt{70}$ [251]	0.0009 [250]
<i>Leptonic decays of $D(s)$:</i>			
V_{cd}	0.03 [472]	–	0.0015
f_D	0.03	–	0.0015
$\frac{\mathcal{B}(D \rightarrow \tau \nu)}{\mathcal{B}(D \rightarrow \mu \nu)}$	0.2	–	0.005
V_{cs}	0.02 [473]	0.005	0.0015
f_{D_s}	0.02	0.005	0.0015
$\frac{\mathcal{B}(D_s \rightarrow \tau \nu)}{\mathcal{B}(D_s \rightarrow \mu \nu)}$	0.04	0.009	0.0038
<i>D mixing parameter:</i>			
x	–	0.03	0.05 [474]
y	–	0.02	0.05
<i>τ properties:</i>			
m_τ (MeV/ c^2)	0.12 [475]	–	0.012
d_τ (e cm)	–	2.02×10^{-19}	5.14×10^{-19}
<i>cLFV decays of τ (U.L at 90% C.L.):</i>			
$\tau \rightarrow ll$	–	1×10^{-9}	1.4×10^{-9}
$\tau \rightarrow \gamma \mu$	–	5×10^{-9}	1.8×10^{-8}
$J/\psi \rightarrow e\tau$	7.5×10^{-8}	–	7.1×10^{-10}

STCF 能够开展 R 值、陶轻子质量、CKM 矩阵元以及强相互作用常数 α_s 高精度测量

Frontiers of Physics

ISSN 2095-0462
Volume 19 • Number 1
February 2024
物理学前沿

STCF
Super Tau Charm Facility

Contents

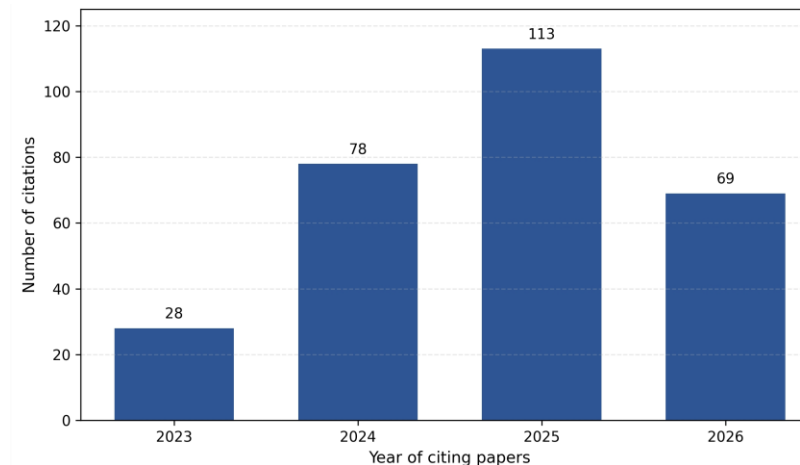
1	Introduction	5
2	Physics	8
2.1	Motivation	8
2.1.1	Challenges in particle physics and the τ -charm energy region	8
2.1.2	Physics potential at the STCF	9
2.2	Charmonium and XYZ physics	12
2.2.1	The XYZ puzzles	12
2.2.2	Limitations of current experiments	13
2.2.3	Opportunities for solving the XYZ puzzles	14
2.2.4	Opportunities in higher charmonium states	15
2.3	Charmed hadron physics	16
2.3.1	Charmed mesons	16
2.3.2	Charmed baryons	20
2.4	Tau physics	23
2.4.1	Precision measurement of the τ properties	23
2.4.2	Determination of the SM parameters	24
2.4.3	CP symmetry tests	26
2.4.4	Flavor-violating τ decays	27
2.5	Topics in QCD studies and light hadron physics	27
2.5.1	QCD physics	28
2.5.2	Spectroscopy	29
2.5.3	Precision tests with light hadrons	30
2.5.4	Tests of the CPT invariance with J/ψ decays	34
2.6	New light particles beyond the SM	36
2.6.1	Particles in the dark sector	37
2.6.2	Millicharged particles	38
2.7	Summary	40

共计被引用289次

概念设计报告尚未覆盖的丰富物理研究潜力

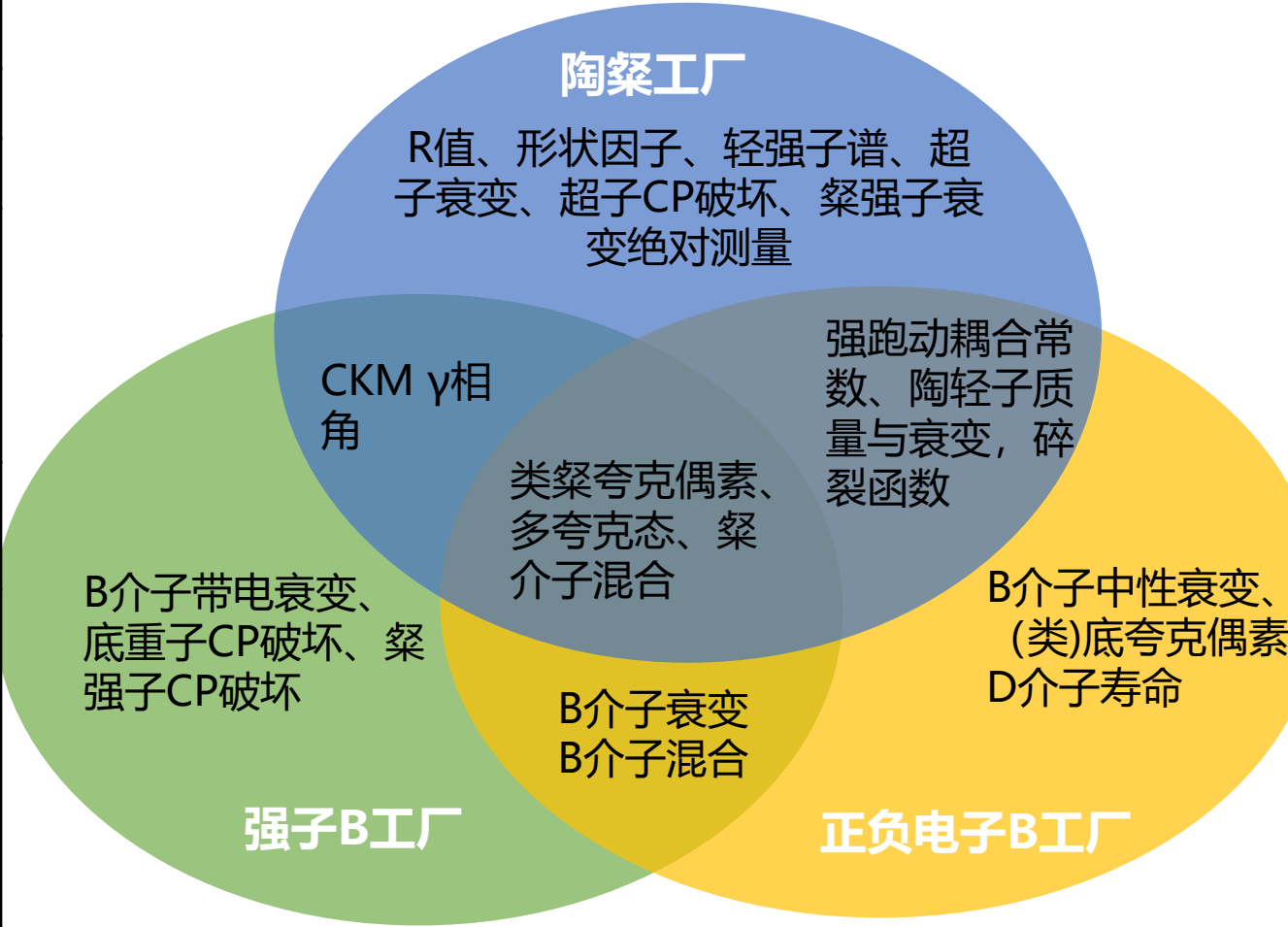
Spin 3/2 polarization
Near-threshold resonance Millicharged particles
Triangle singularity J/ψ semileptonic decay Belle locality
 D_s^* radiative decay FCNC EMFFs Light-cone distribution amplitudes $cLFV$ baryogenesis
K0-K0bar Two-pole X(6200) Neutral meson mixing QCD sum rules
Muon g-2 and $\alpha(M_Z^2)$ $\Lambda - \bar{\Lambda}$ oscillation Axion-like particle Chiral theory
Fully charm tetraquarks Tau EDM $SU(2)_L$ -singlet vector-like fermion partners
 $\Delta S = 2$ Nonleptonic hyperon decay Hyperon EDM X(4014) Excited baryon
Proton charge radius Coupled-channel effect Axions CPT
Hyperon-Nucleus Scattering
 $a_0(1710)$ Invisible decay of J/ψ Phi meson photoproduction

每年引用次数分布



STCF 与 Belle II, LHCb 实验的协同

装置名称	STCF	SuperKEKB/Belle II	LHC/LHCb upgrade I/II
对撞类型	e^+e^-	e^+e^-	pp
质心能量	2-7 GeV	10-11 GeV	13/14 TeV
峰值亮度	$0.5 \times 10^{35} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	$8 \times 10^{35} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$	$(1.5-2.0) \times 10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
预计运行时间	2032-	2019-2043	2024-2033, 2036-2041
预期积分亮度	20 ab^{-1}	50 ab^{-1}	$50/300 \text{ fb}^{-1}$
预期重要成果	确定奇特态强子谱结构; 发现超子 CP 破坏; 确定标准模型基本物理参数	底介子衰变性质和 CKM 相位角精确测量; 粲物理和夸克偶素精确研究; 新物理寻找	CKM 矩阵参数精确测量; 中性粲介子 CP 破坏参数精确测量; 底强子中轻子普适性检验和稀有衰变寻找; 奇特强子态研究



STCF 与未来国际高亮度前沿物理高度协同与优势互补，不可或缺

1. 项目简介

2. 项目科学目标

3. 关键技术攻关与预研进展

4. 项目组织

5. 十五五申报与下一步规划

6. 总结

正负电子对撞机

质心能量 $2\sim 7\text{ GeV}$ 连续可调

亮度 $0.5\times 10^{35}\text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ @ 4 GeV

超高亮度、超宽能区
稳定运行

粒子探测谱仪

动量分辨率 0.5% @ $1\text{ GeV}/c$

能量分辨率 2.5% @ 1 GeV

粒子鉴别能力 $K/\pi\ 4\sigma$ @ $2\text{ GeV}/c$

事例率与数据量 300 KHz , 9 GB/s

超高事例率、超高本底、宽动态范围
超高精度的粒子探测

加速器：正负电子双对撞环

目标：高流强、低发射度、大能量范围、对撞点极小 β 函数和大交叉角，稳定运行与精确控制

正负电子双对撞环

860米

多段直线加速器总长

550米

正电子阻尼环

150米

加速器：注入器

目标：高重频注入、高电荷量、低发射度正负电子束

探测谱仪

目标：在强辐照、高本底、高事例率、宽动态范围条件下超高精度粒子测量和鉴别

6米

7米

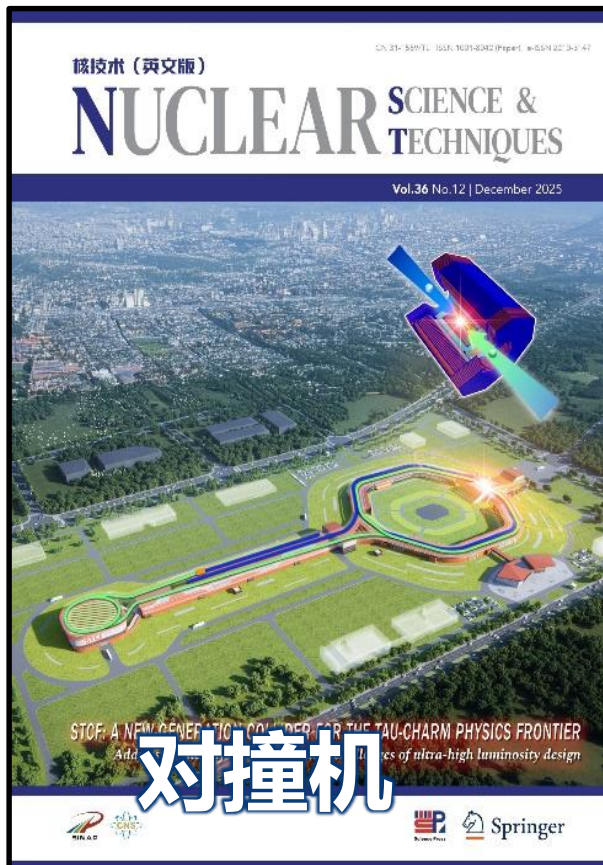
总体方案：大交叉角 + Crab-Waist 对撞 + 新一代探测谱仪

对撞机核心技术指标

核心技术	STCF 设计指标	国内现状	国际现状
对撞环物理设计	- 大交叉角 - 大流强/低发射度: 2A / 5 nm·rad - 超高亮度 $> 0.5 \times 10^{35}$, 限制: 束流寿命极短 < 300 s	BEPCII - 小交叉角 0.9A / 150 nm·rad - 亮度 10^{33} - 寿命约2小时	SuperKEKB - 设计2.6A/3.6A, 目前1.1A/1.4A - 设计亮度 6×10^{35}, 目前 5×10^{34} - 寿命 > 600 s
对撞区磁铁技术	双孔径超导四极铁和屏蔽螺线管 - 磁场梯度高 > 50 T/m	BEPCII 单孔径超导磁铁, 25 T/m	SuperKEKB 对撞区双孔径超导四极铁 (性能不好, 需更换)
环高频系统	- 耦合器功率 > 300 kW - 高次模深度抑制和低R/Q常温腔	- 耦合器功率 ~ 150 kW - HOM抑制常温腔在研发中	SuperKEKB - 耦合器功率 > 500 kW 3级串联常温腔
超高真空技术	- 同步辐射线功率密度: > 17 kW/m 动态真空度: $< 5 \times 10^{-8}$ Pa	HEPS - 线功率密度: < 7.3 kW/m 动态真空度: $\sim 1.3 \times 10^{-7}$ Pa	SuperKEKB - 线功率密度: 13 kW/m 动态真空度: $\sim 1 \times 10^{-7}$ Pa
对撞环束流精确测量和反馈控制	- 横向位置分辨率好于 5 μm - 纵向相位分辨率好于 0.2 ps - 快速反馈阻尼时间 0.1 ms - 纵向阻尼时间 0.5 ms	BEPCII - 位置分辨率好于 5μm - 反馈 0.7 ms	SuperKEKB - 横向位置分辨 50-100 μm - 纵向相位分辨 0.033 ps
正电子源	1 GeV 电子束能量, 单束团电荷量 1 nC	BEPCII 150 MeV, 仅满足上一代装置要求	SuperKEKB 3.3 GeV, 目标 4 nC, 目前 1.5 nC

核心技术	STCF 设计指标	国内现状	国际现状
阻性微槽型 气体探测器 (粒子径迹顶点测量)	- 时间分辨 $< 10\text{ ns}$ - 位置分辨 $< 130\text{ }\mu\text{m}$ - 计数率能力 $> 100\text{ kHz/cm}^2$ - 圆柱形, 单层物质质量 $< 0.3\% X/X_0$	BESIII CGEM 调试中, 尚未完全达到设计指标, 设计指标: - 位置分辨 $\sim 150\text{ }\mu\text{m}$ - 计数率能力 $> 10\text{ kHz/cm}^2$ - 单层物质质量 $\sim 0.5\% X/X_0$	KLOE CGEM - 位置分辨 $\sim 200\text{ }\mu\text{m}$, - 单层物质质量 $\sim 0.5\% X/X_0$ - 未见对撞数据中的性能
内全反射契伦科夫 飞行时间探测器 (粒子鉴别)	- 单元面积 $\sim 0.6\text{ m}^2$ - 本底计数率 $\sim 100\text{ MHz}$ 条件下 时间分辨 $< 30\text{ ps}$	无	研发中
纯CsI晶体 量能器 (粒子能量测量)	$\sim 1\text{ MHz}$ ($\geq 0.5\text{ MeV}$) 本底计数率条件下: 能量分辨: $\sim 5\%$ @ 100 MeV, 2.5% @ 1 GeV - 时间分辨: 300 ps @ 1 GeV	BESIII CsI晶体量能器 - 在平均 $\sim 20\text{ kHz}$ ($> 0.5\text{ MeV}$) 本底计数率条件下, 能量分辨 $\sim 5\%$ @ 100 MeV, 2.5% @ 1 GeV - 无时间测量	Belle II CsI晶体量能器 - 在平均 $\sim 250\text{ Hz}$ ($> 100\text{ MeV}$) 本底 计数率条件下, 能量分辨 $\sim 8\%$ @ 100 MeV, 2.2% @ 1 GeV - 无时间测量
电子学读出 ASIC 芯片 (探测器信号读出)	- 全波形输出, 64通道, - 电荷分辨 $< 0.5\text{ fC}$ @ 48 fC & 20 pF, - 时间分辨 $< 1.0\text{ ns}$ @ 20 fC & 20 pF, 事例率 $> 16\text{ kHz}$	研发中	AGET芯片 事例率 $< 1\text{ kHz}$
	64通道, - 时间分辨 $< 10\text{ ns}$ @ 5 fC - 事例率 $2\sim 4\text{ MHz}$	研发中	VMM芯片 事例率 $< 1\text{ MHz}$

概念性设计报告：已通过国际评审并发表



- 总体概述
- 对撞环加速器物理
- 注入器加速器物理
- 技术系统设计
- 关键技术研发
- 公用基础设施需求

460 位作者
114 个单位
(国内90, 国外24)



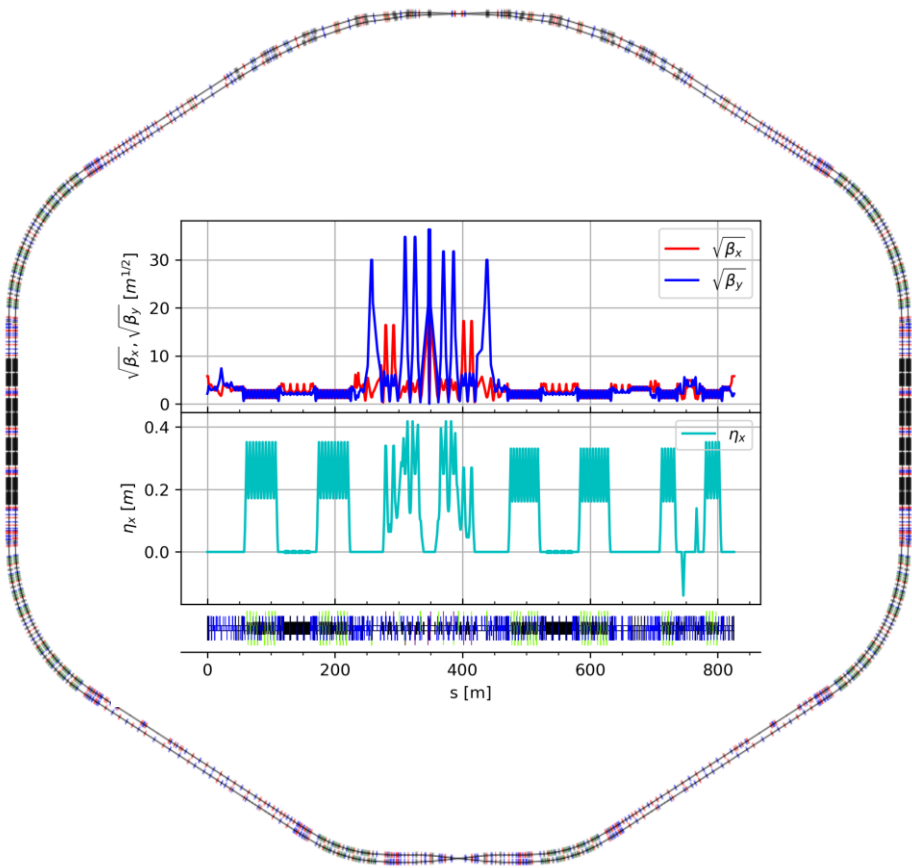
- 物理目标
- 探测谱仪设计
- 物理性能
- 未来计划

453 位作者
82 个单位
(国内64, 国外18)

确定设计方案和技术路线，得到国内外同行高度认同

对撞环物理设计进展

第三代对撞机，物理设计极具挑战性

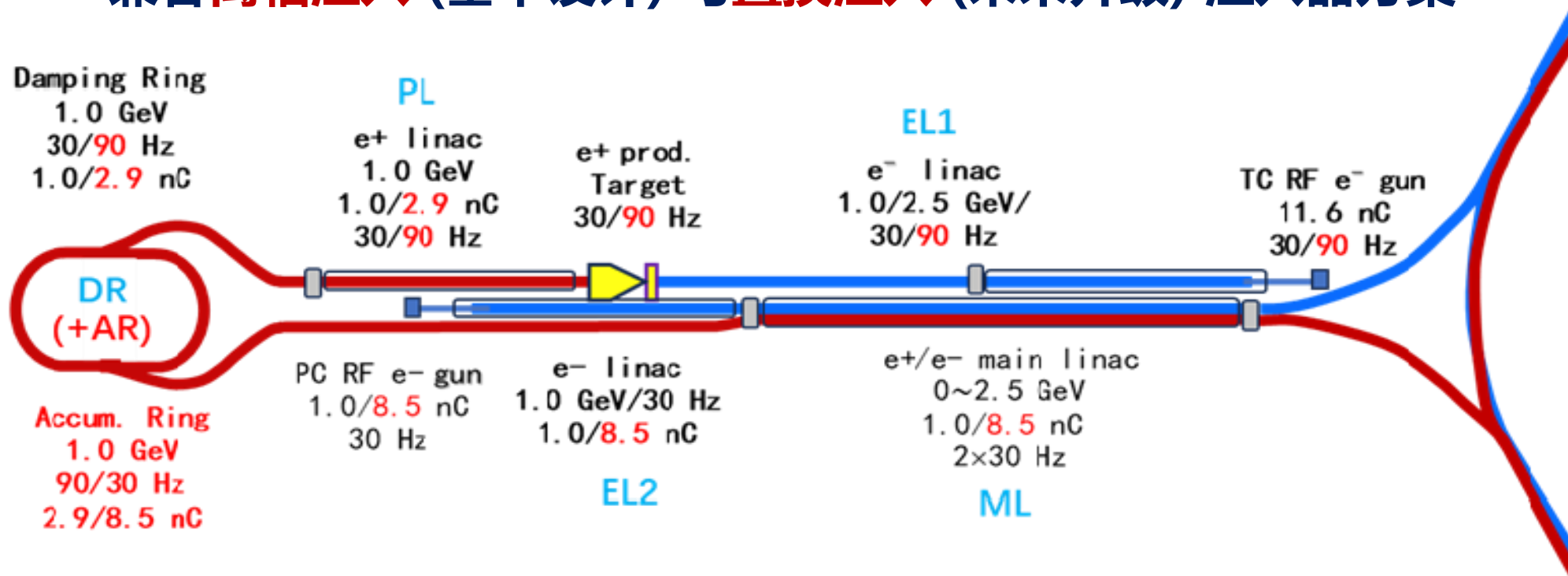


- 发布第五版对撞环物理参数（与第四版比较）：
 - 周长由 860m 缩短到 825.5m（利于降低造价）
 - 对撞点处 β_x^* 由 60 mm 降到 40 mm（利于抑制 X-Z 不稳定性）
 - 高频段采用低 β 长漂移节（利于整体安装和抑制不稳定性）
 - 阻尼扭摆器峰值场强由 1.6 T 增加到 1.9 T（利于缩短环周长）
- 其他设计优化
 - 非线性优化，Touschek 寿命较V4版本综合提升约40%
 - 束-束作用及与其他物理机制的耦合研究，提高亮度稳定区
 - 束流准直优化，降低对撞实验本底

能量 (GeV)	2	1	1.5	3.5
亮度 ($10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	10.2	0.80	2.64	3.31
Touschek寿命 (s)	364	267	371	10972

注入器物理设计进展

兼容离轴注入 (基本设计) 与置换注入 (未来升级) 注入器方案

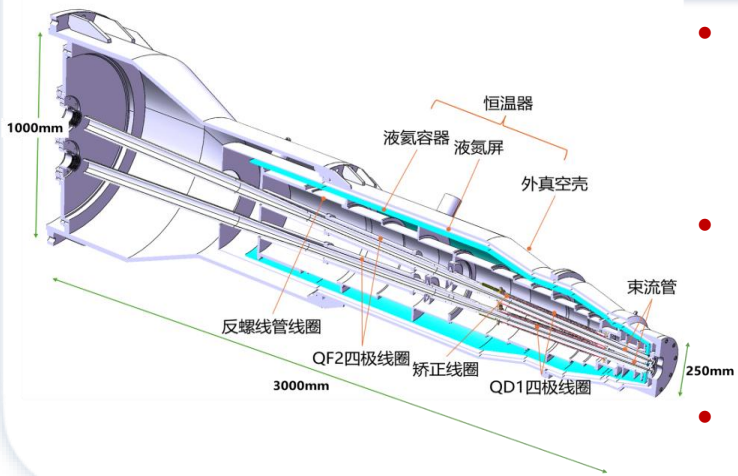


- 满足对撞环离轴注入和置换注入的要求：
能量、电荷量、横向和纵向发射度

- 4 段直线加速器的设计优化
- 正电子阻尼环的设计优化
- 5 段输运线设计优化
- 正电子打靶/收集设计和优化

加速器技术系统：对撞区双孔径超导磁铁

实现对撞点极小束斑核心技术

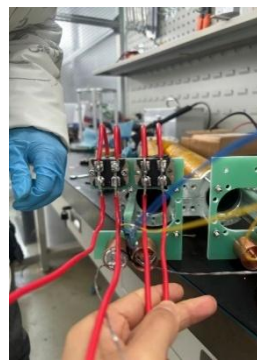
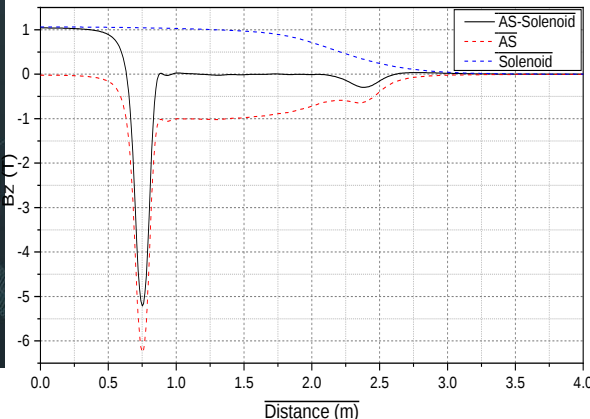
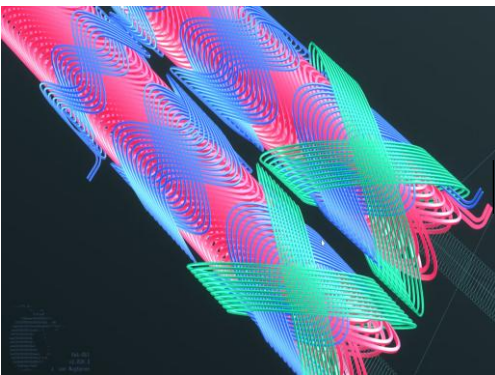


- **超高技术指标：**
高梯度 $> 50 \text{ T/m}$, 高精度 10^{-4} , 谱仪磁场屏蔽 $< 10 \text{ Gauss}$
- **空间极度受限：**
双孔径四极线圈最近距离 $< 54 \text{ mm}$, 设计空间 $< 7 \text{ mm}$
- **多种超导线圈组合：**
聚焦线圈x4, 矫正线圈x16, 螺线管x15

QD1全尺寸样机



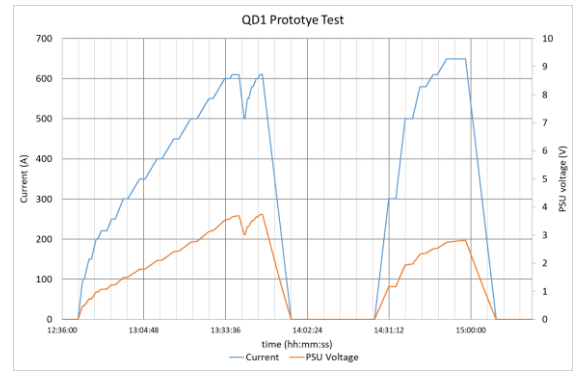
QD1多极矫正线圈



接线接头



磁体+杜瓦+磁测组

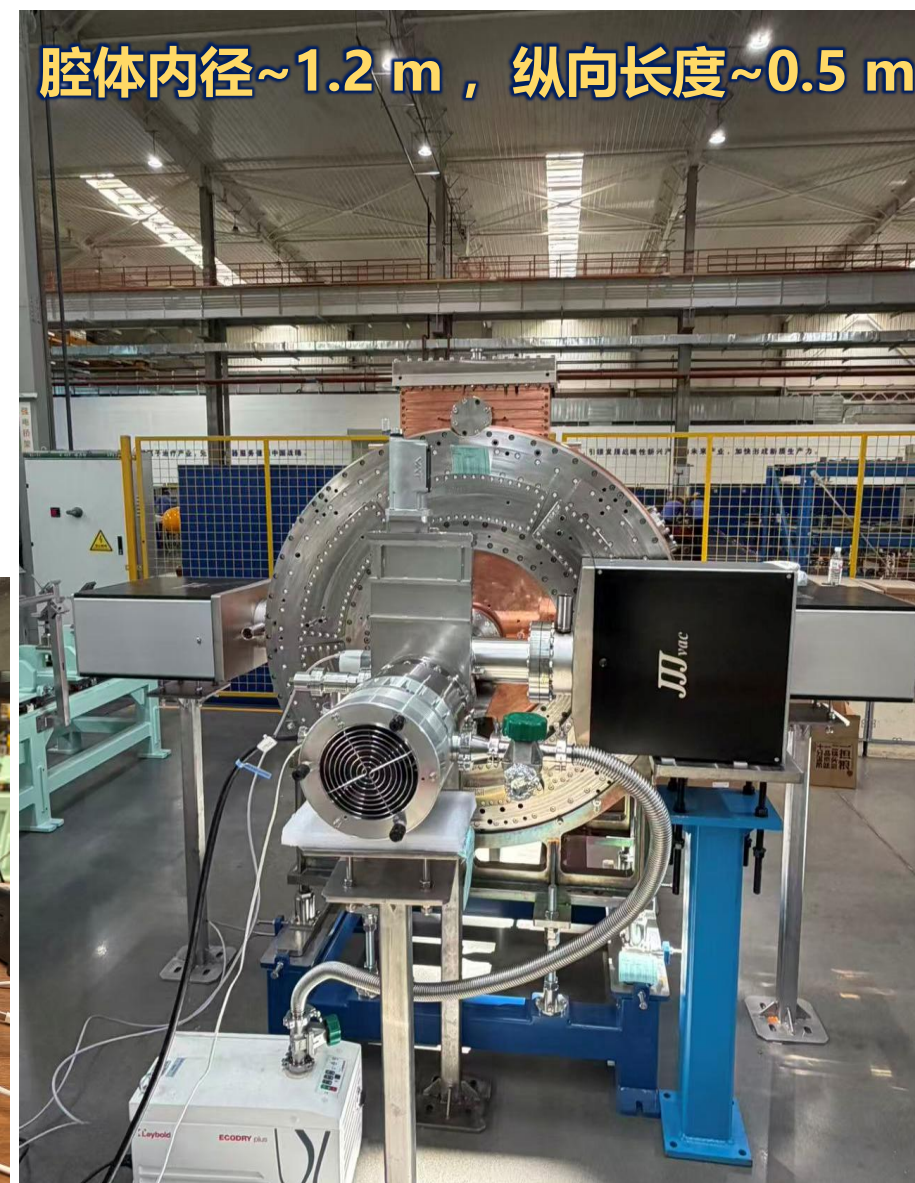
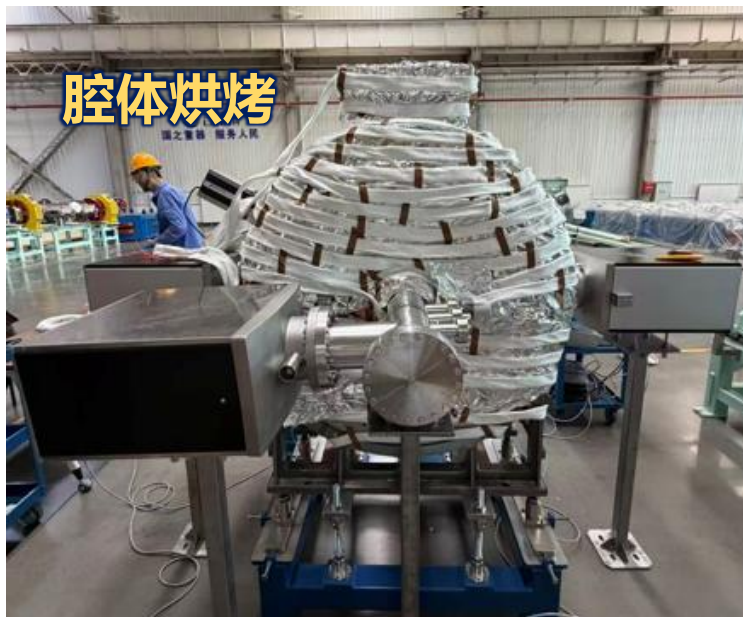


QD1矫正线圈设计，满足各阶设计强度要求

QD1样机磁场测试结果：达到验收要求

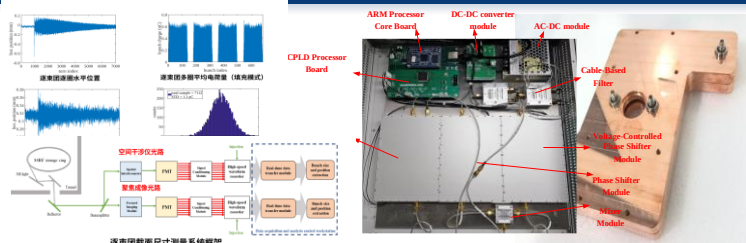
加速器技术系统：常温TM020高频腔

- STCF单环需提供RF电压 **6 MV**和功率 **3 MW**，高次模充分阻尼
- 新型常温TM020腔：频率499.7 MHz，结构特殊、体积大，单腔腔压**>0.5 MV**，RF功率**≥300 kW**（国际最高）
- 样机：完成加工、冷测和真空测试，待高功率测试



其他加速器技术系统

束流测量系统



样机：三维位置，逐束团快反馈，谐振腔测量束团位置/电荷量/长度

阻尼扭摆磁铁样机



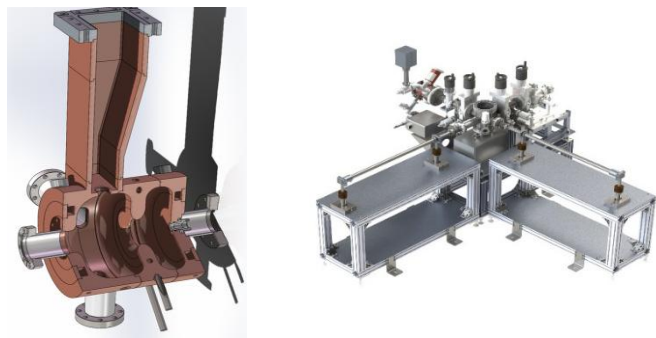
新型结构，高磁场

正电子源样机

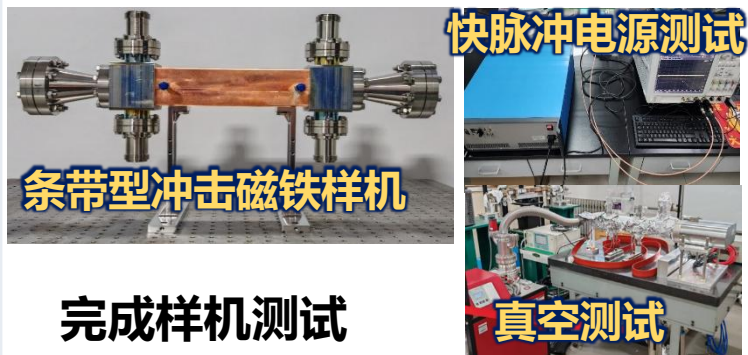


钨靶和AMD样机

大电荷量光阴极电子枪样机



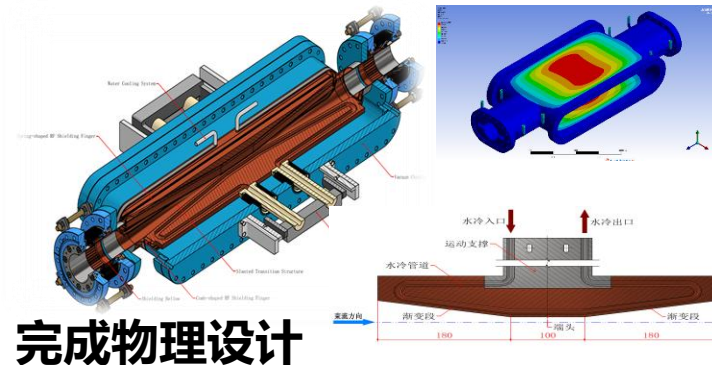
超快冲击磁铁样机



完成样机测试



束流准直器设计

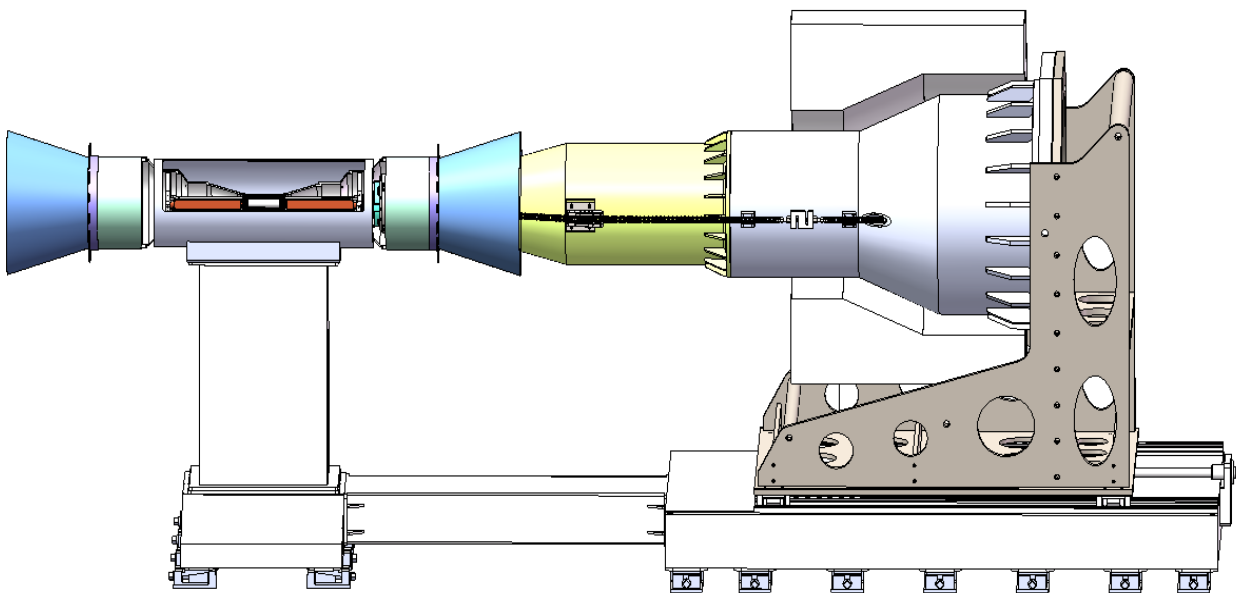


完成相关技术设计，核心技术已通过样机验证或正在验证

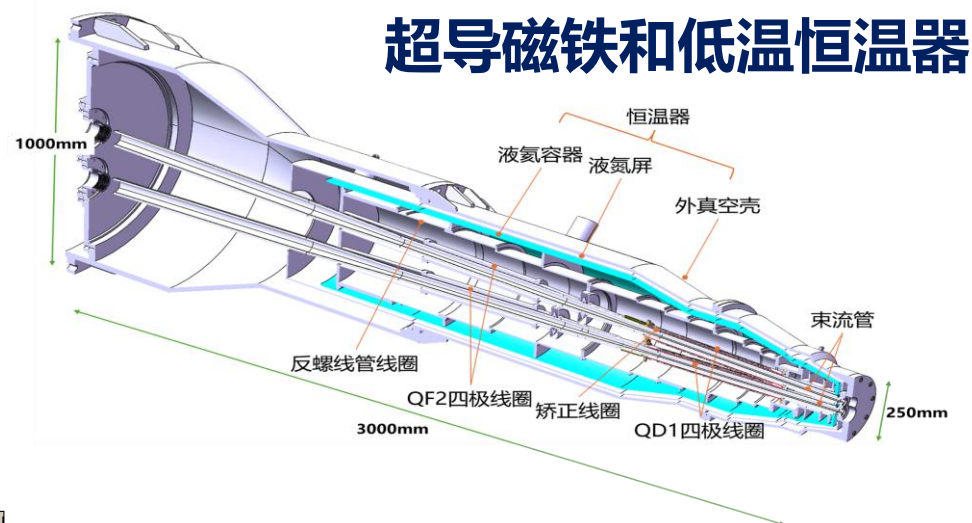
加速器-谱仪交界面 (MDI)

联合小组:

- 对撞区物理
- 真空
- 超导磁铁与低温恒温器
- 束流准直
- 机械/中心束流管
- 束流测量
- 准直安装
- 内层探测器
- 谱仪超导磁体
- 本底与屏蔽

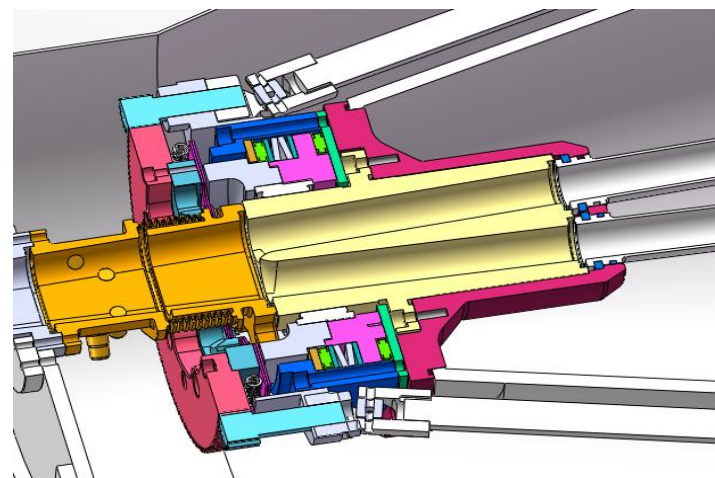


机械样机研制：进行中，8月完成



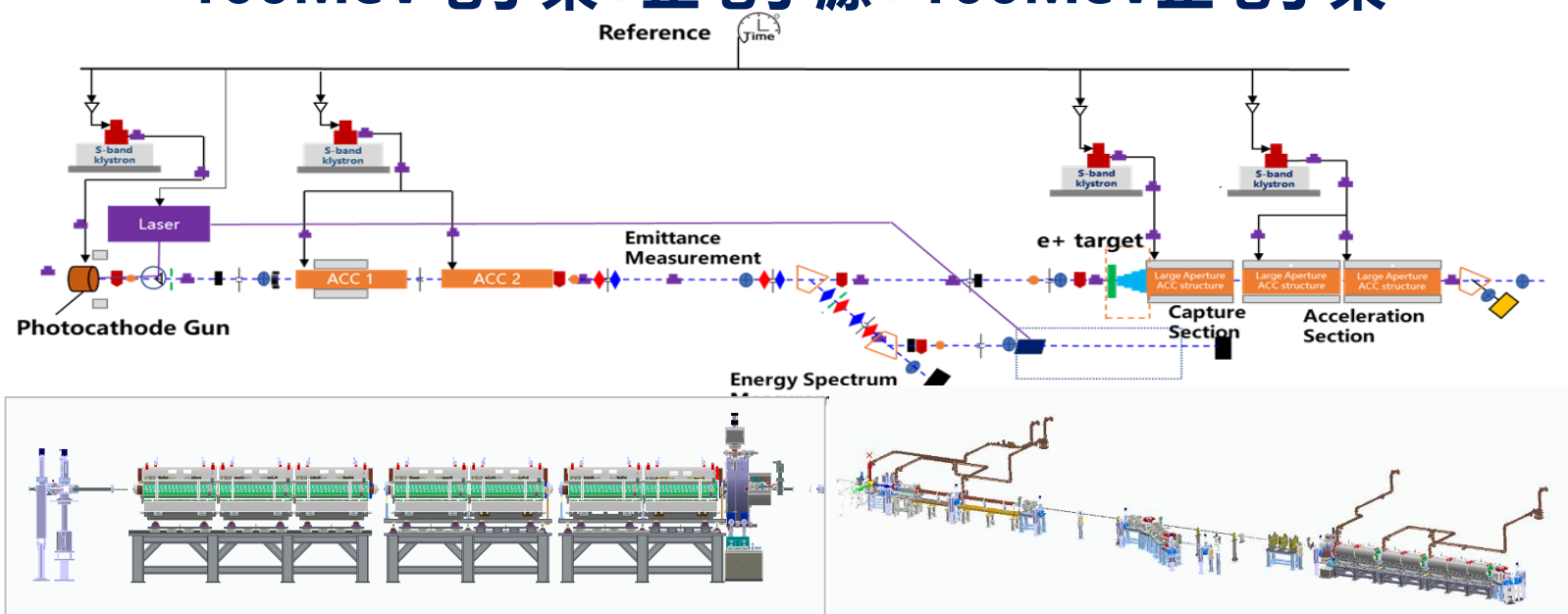
超导磁铁和低温恒温器

RVC远程真空连接机构



束流测试平台

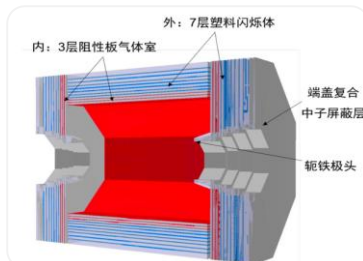
100MeV电子束+正电子源+100MeV正电子束



验证注入器核心技术，已开始安装，10月份开始调束

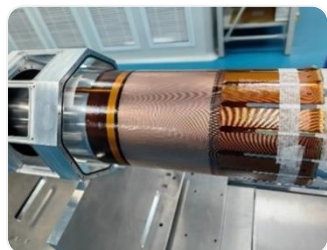
新型缪子探测器

阻性板室 + 塑料闪烁体探测



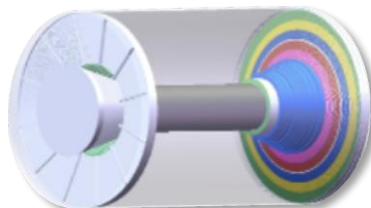
低质量内径迹探测器

阻性微槽型气体探测器



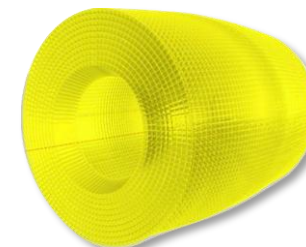
高计数率主漂移室

超低质量、超小单元漂移室



有时间信息晶体量能器

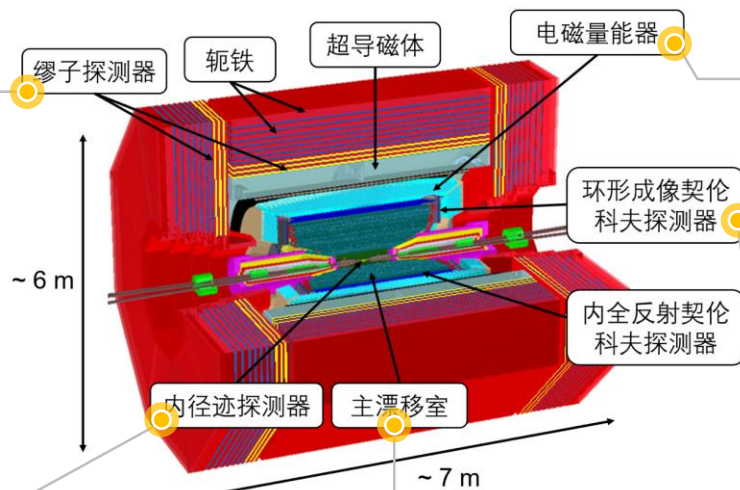
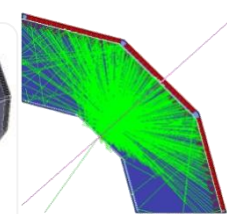
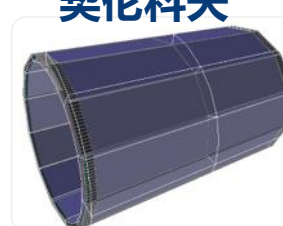
纯碘化铯+APD读出



新型成像粒子鉴别器

内全反射型
契伦科夫

环形成像型



争对各系统持续开展关键技术攻关，已取得多项重大突破

探测谱仪进展： μ RGroove内径迹探测器

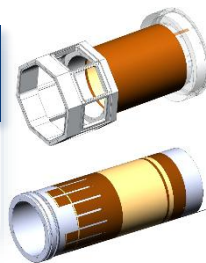
自主研制超低物质质量导电涂层

探测器物质质量为 $\sim 0.23\%X_0$



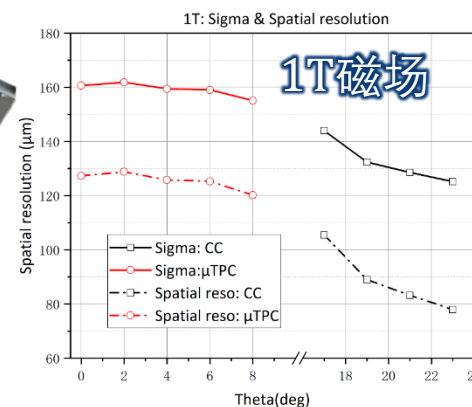
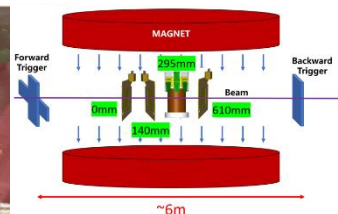
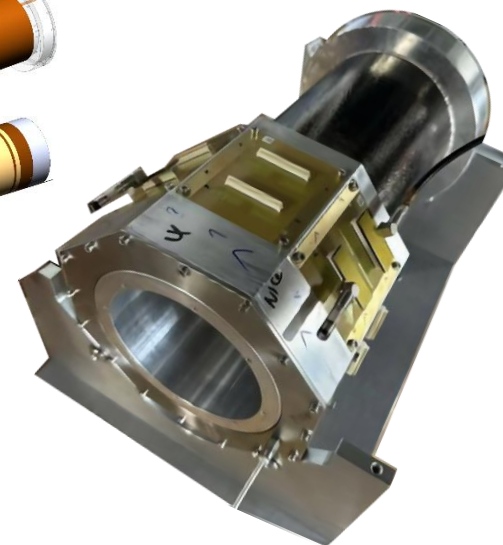
电极圆柱化无损安装及密封技术

安装过程对放大结构完全无损
可拆卸密封，实现探测器可维护



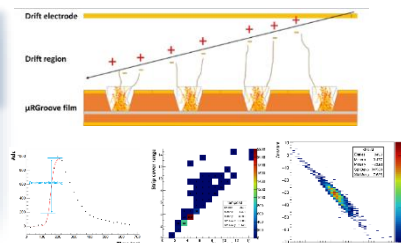
读出电子学集成电路

非线性小于1.5%，能量分辨
<10%@40fc，事例率4M Hz



磁场下位置重建算法开发

1T磁场下位置分辨好于130μm



- 攻克了低物质质量电极、圆柱形安装及密封、高精度集成电路， μ TPC 模式重建等核心技术
- 探测器物质质量与位置分辨均为当前国际领先水平

探测谱仪进展：粒子鉴别器

大面积原子级超精细加工

面积 $> 0.5 \text{ m}^2$,
表面粗糙度 $< 1 \text{ nm}$



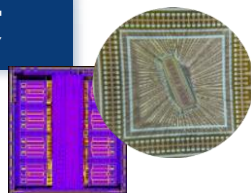
超快多阳极 MCP-PMT

单光子时间分辨 $< 45 \text{ ps}$
承受累积电荷 $> 20 \text{ C/cm}^2$



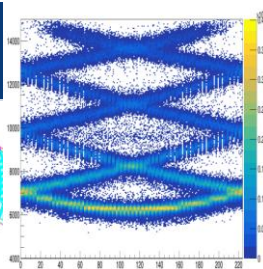
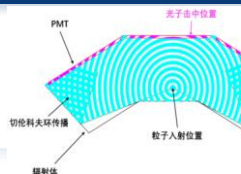
高精度定时 ASIC 研发

时间分辨率 $< 20 \text{ ps}$

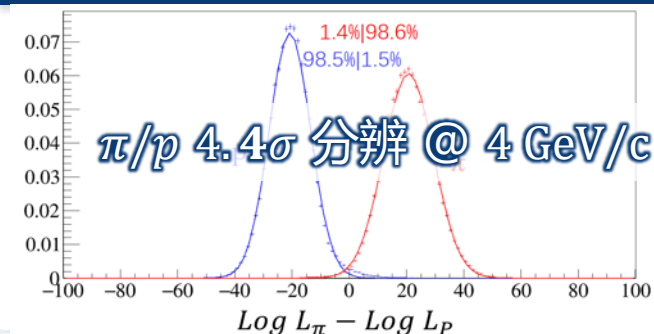


多维成像算法开发

$\pi/K > 4\sigma$ 分辨
@ 2 GeV/c



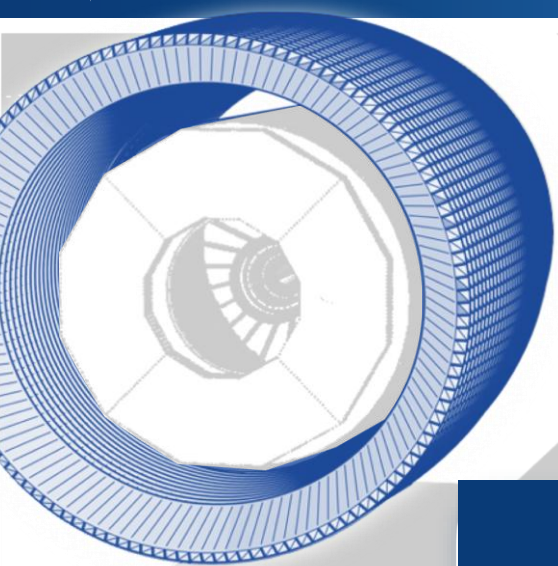
样机集成和束流联测



全尺寸样机

- 攻克了大面积原子级超精细加工、超快多阳极微通道板光电倍增、高精度定时 ASIC、多维成像算法等核心技术
- 性能在同类探测器中达到**国际领先水平**，满足项目需求

探测谱仪进展：电磁量能器



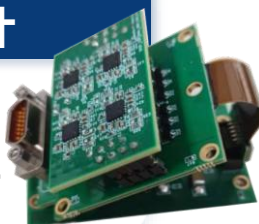
喷涂波长位移剂工艺
光产额提升3倍

高光输出
~ 300 pe/MeV



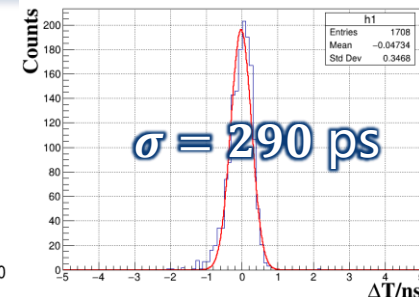
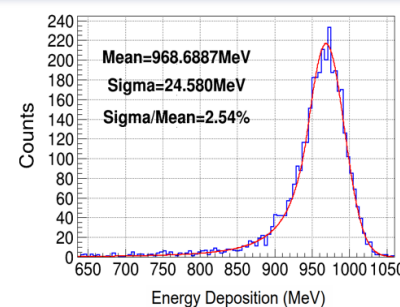
高灵敏大动态范围
读出电子学设计

低噪声水平 < 1 MeV
大动态范围 > 1000倍



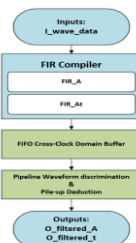
5X5样机

样机集成和束流联测



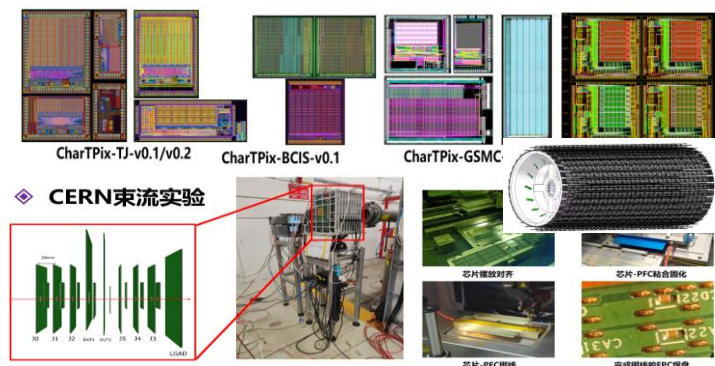
在线时间、振幅精确提取

在线提取 > MHz
应用FPGA实现基于流水线最优滤波波形拟合

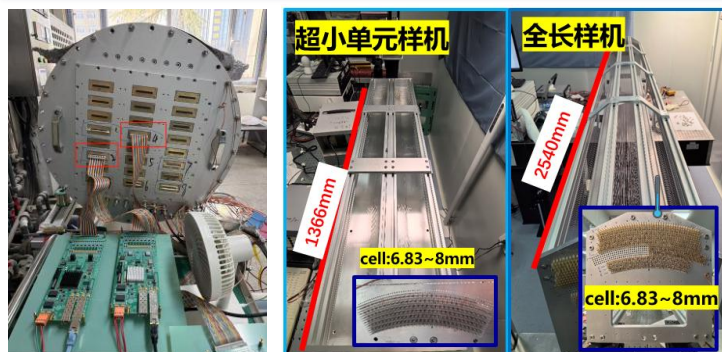


- 解决了光产额、高灵敏大动态范围读出电子学、在线时间、幅度信号精确提取等核心技术
- 在MHz本底事例率下实现高精度能量、时间的测量
- 性能达到国际领先水平，满足项目需求

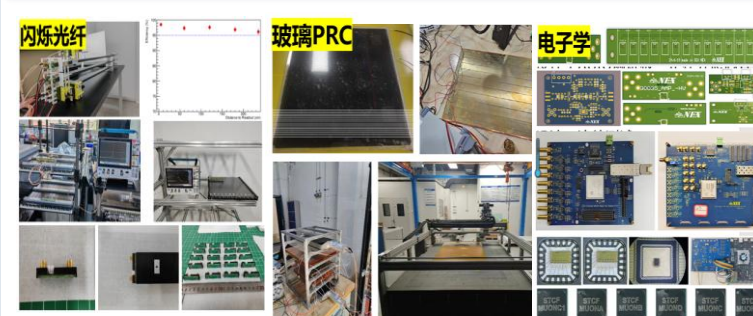
MAPs 内径迹探测器



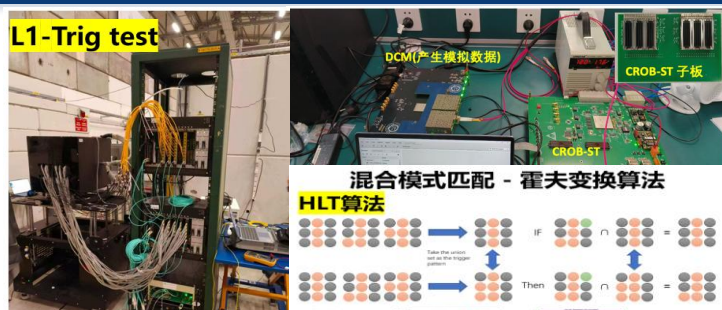
全长度主漂移室样机



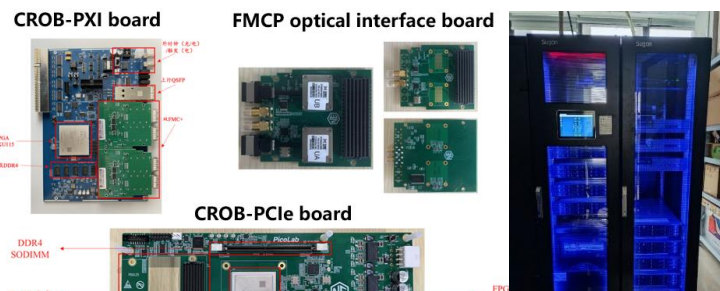
缪子探测器



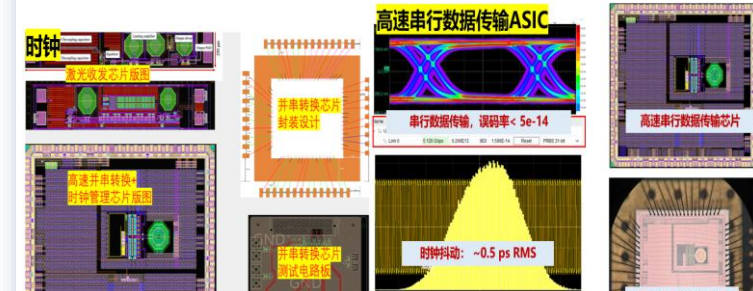
触发系统



DAQ 系统



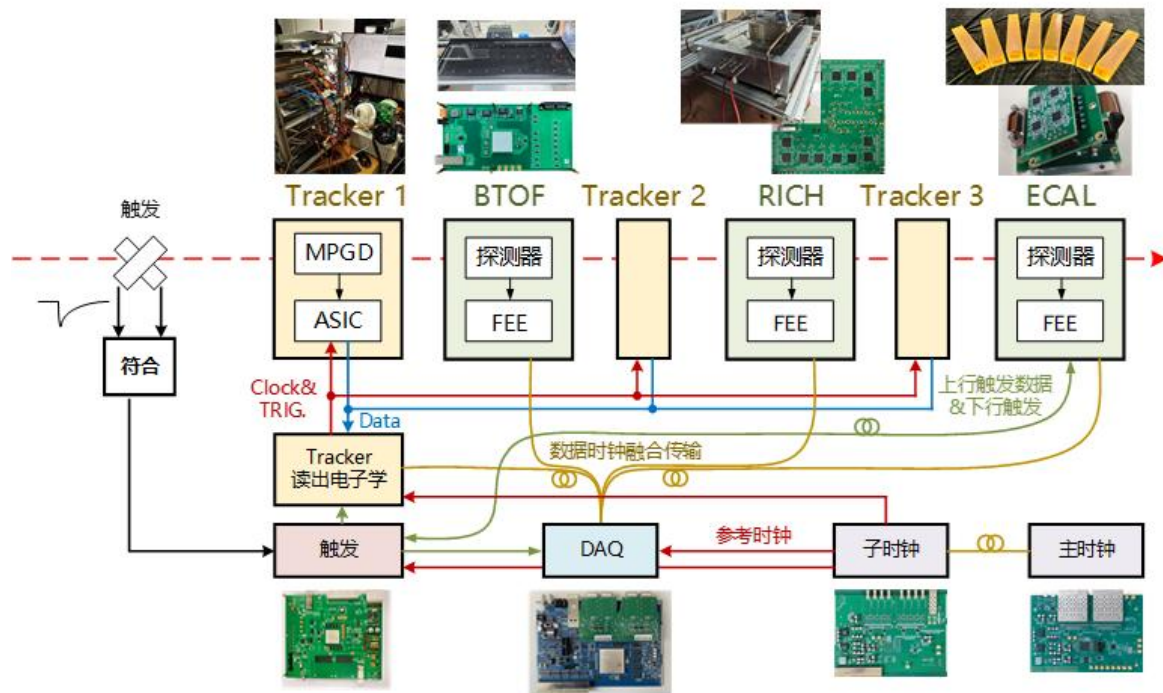
时钟与数据传输系统



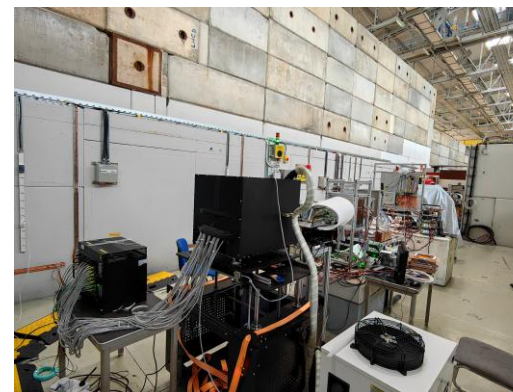
所有系统都完成样机研制，并通过性能测试

探测谱仪联合束流测试

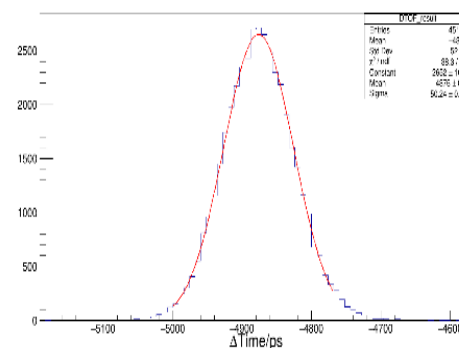
- 探测谱仪多系统的集成：内径迹探测器、桶部粒子鉴别器、端盖粒子鉴别器、电磁量能器、时钟系统、触发系统、数据获取系统



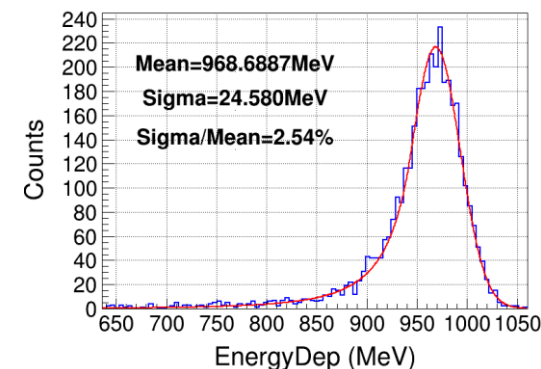
- 在欧洲核子研究中心 (CERN) 使用高能粒子束流，进行两次联合测试，系统性能达到甚至超过设计指标



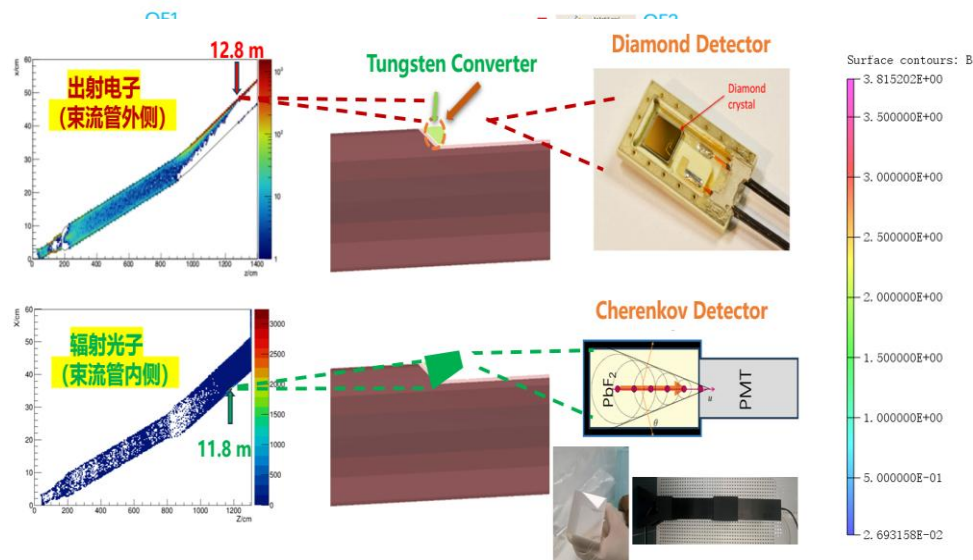
粒子鉴别器: $\sigma_t \sim 25$ ps



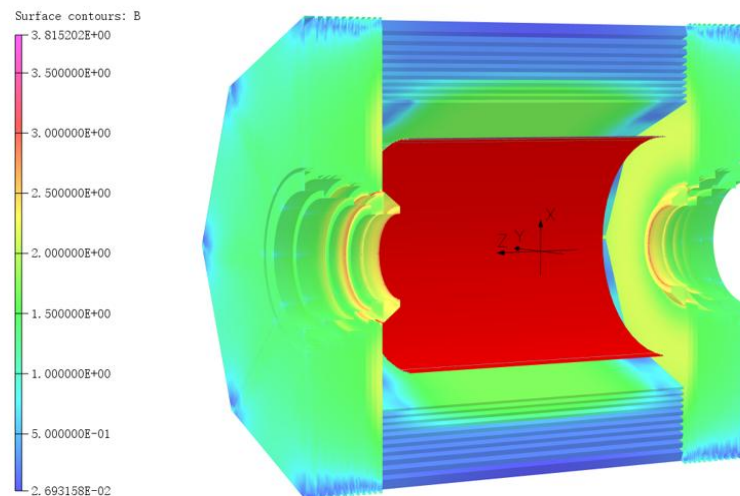
电磁量能器: $\sigma_E/E \sim 2.5\%$



前向系统



超导磁体

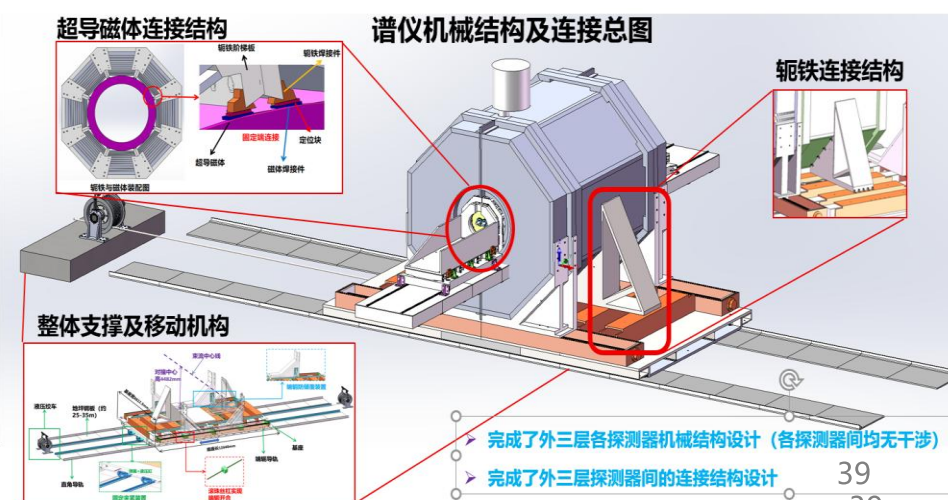
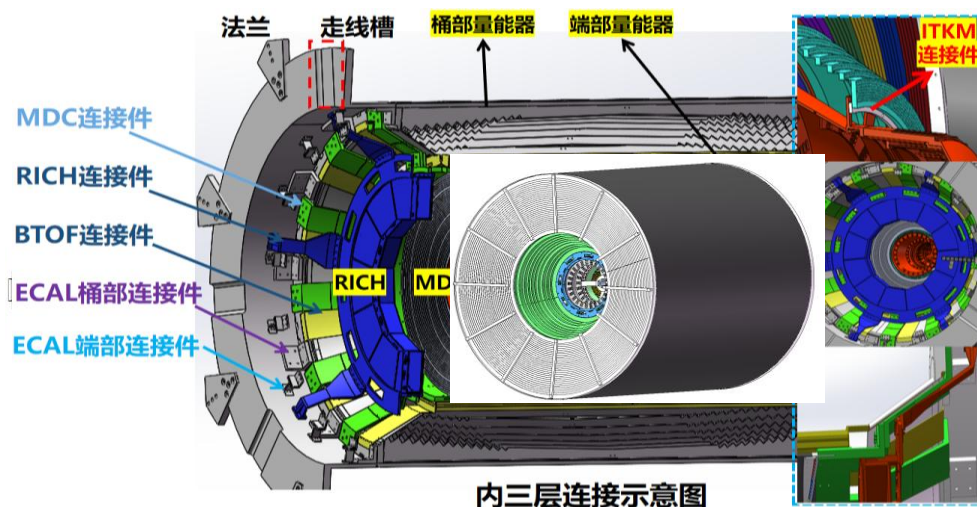
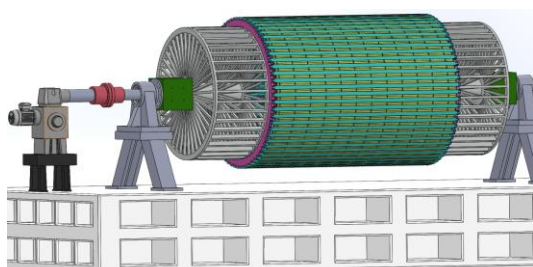


慢控系统

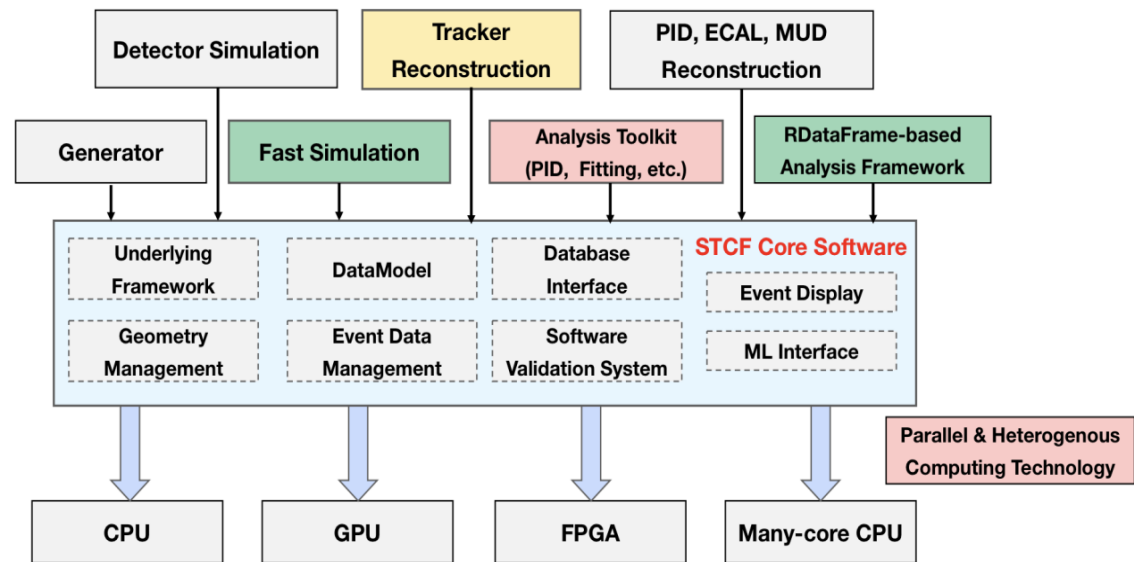


实现了EPICS对三菱、西门子PLC的运动控制

谱仪机械



- 离线软件系统 (OSCAR) 覆盖模拟→ 数字化 → 重建 → 物理分析**全链条**，并新增**智能体性能验证系统**，全面支撑**探测器设计**和**多项物理模拟研究**的开展，核心指标**达到设计需求**
- 在模拟、重建等多个环节，引进**国际先进软件**（Key4HEP、ACTS、RDataFrame等）和**机器学习技术**（BDT、GAN、CNN、transformer等），实现优异的性能



类别	实现指标
径迹重建	效率 >90% @ $p_T > 100$ MeV; 动量分辨 $\sim 0.5\%$ @ $p = 1$ GeV
电磁量能器重建	单光子分辨: $\sigma_E < 2.5\%$, $\sigma_{pos} < 5$ mm, $\sigma_t < 300$ ps @ $E = 1$ GeV; π^0 质量分辨 5.2 MeV @ $p = 0.5$ GeV
粒子鉴别	π 效率 >97% (< 2 GeV, $K \rightarrow \pi$ 误判 2%); μ 效率 >95% (> 1 GeV, $\pi \rightarrow \mu$ 误判 3.3%)
计算资源	~ 1.1 s/事例, ~ 100 KB/事例 (四径迹, 与BESIII相当)

1. 项目简介

2. 项目科学目标

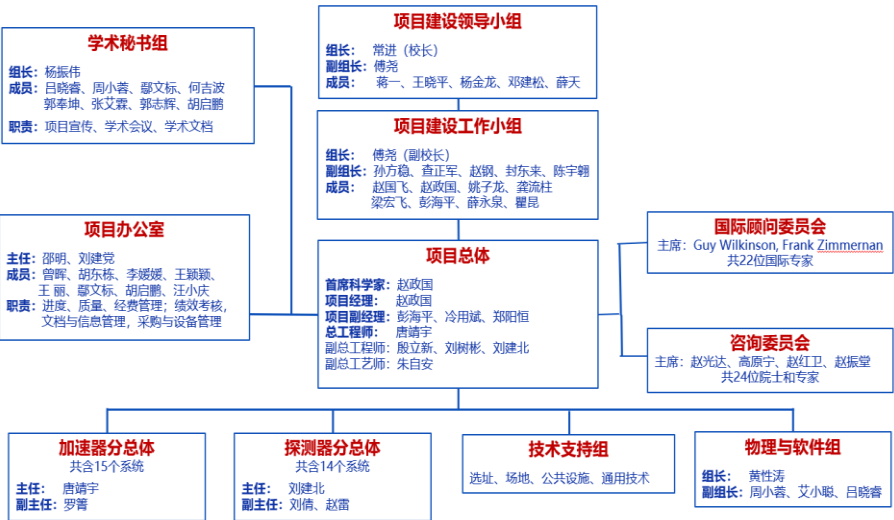
3. 关键技术攻关与预研进展

4. 项目组织

5. 十五五申报与下一步规划

6. 总结

工程化管理、系列会议



超级陶祭装置 (STCF) 会议系统				
对撞机	对撞机	352 events	352	
探测谱仪	探测谱仪	559 events	559	
物理与软件	物理软件	736 events	736	
项目办公室	项目办公室	190 events	190	
项目总体例会	项目总体	89 events	89	
项目管理例会	项目管理委员会	83 events	83	
园区规划和设计	园区规划与设计	2 events	2	
国际顾问委员会 (International Advisory Committee)	国际顾问委员会	3 events	3	
科技委员会	科技委员会	1 event	1	

时间	举办地点
2018.10	衡阳
2019.03	北京
2019.07	合肥
2019.08	合肥
2019.11	北京
2020.08	合肥
2022.12	广州
2023.07	郑州
2024.07	兰州
2025.07	湘潭
2026.07	西安



广泛国内外研讨与深度国际合作、凝练科学目标、细化工程方案、论证技术路线、高效落地预研任务

执行年份	部门	项目类型	金额 (万元)
2023 - 2026	安徽省/合肥市/中国科大	关键技术攻关专项	36400
2018 - 2021	中国科大	双一流重点项目	1500
2020 - 2022	中国科学院	关键技术团队项目	1500
2021 - 2026	中国科学院	国际伙伴项目	495
2022 - 2027	科技部	重点研发项目	1750
2023 - 2027	基金委	重点项目群	1400

关键技术攻关项目将于今年10月份结题

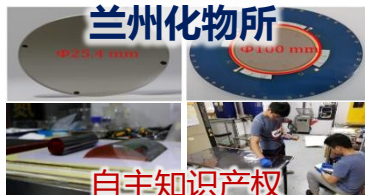


推动科研和产业深度融合，提升创新能力

项目研发涉及与诸多科研院所和产业界深度合作, 通过优势互补、协同攻关, 提升创新能力

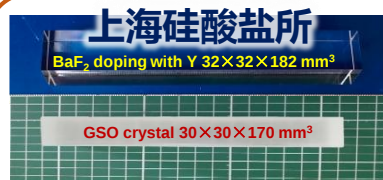
科研院所

中国科学院
兰州化物所



自主知识产权
高性能阻性电极

中国科学院
上海硅酸盐所



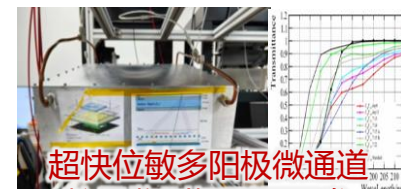
新一代闪烁体研制与应用

中国科学院
西安光学和精密机械研究所



超快位敏多阳极微通道
光电倍增管

中国科学院大学



超快位敏多阳极微通道
粒子鉴别探测器研发

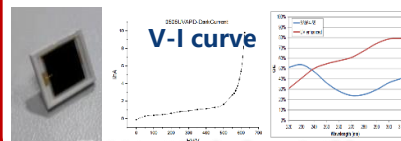
国际国内企业

北京玻璃研究院有限公司



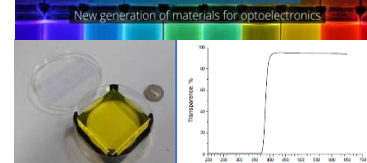
大面积石英玻璃
原子级表面加工

HAMAMATSU
PHOTON IS OUR BUSINESS



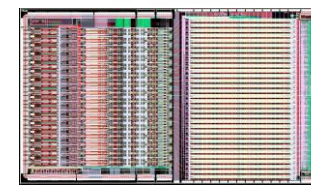
紫外雪崩光电二极管

LumiInnoTech



波长位移剂

中芯国际



信号读出芯片设计加工

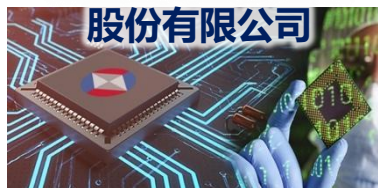
合肥本地企业

奕瑞科技公司



抗辐照芯片研发

合肥晶合集成电路
股份有限公司



单片有源硅像素芯片研发

合肥聚能电物理
高科技开发有限公司



加速器磁铁设计与加工

安徽创谱仪器
科技有限公司



X射线和EUV光谱仪器设备

- 与 CERN DRD、LHCb、KEK(日) 等国际科研组织建立长期良好的合作关系
- 与 BINP(俄)、JINR(俄)、IJCLab(法) 机构签署了正式合作协议



与LHCb TORCH升级项目组合作 与CERN薄膜沉积实验室合作

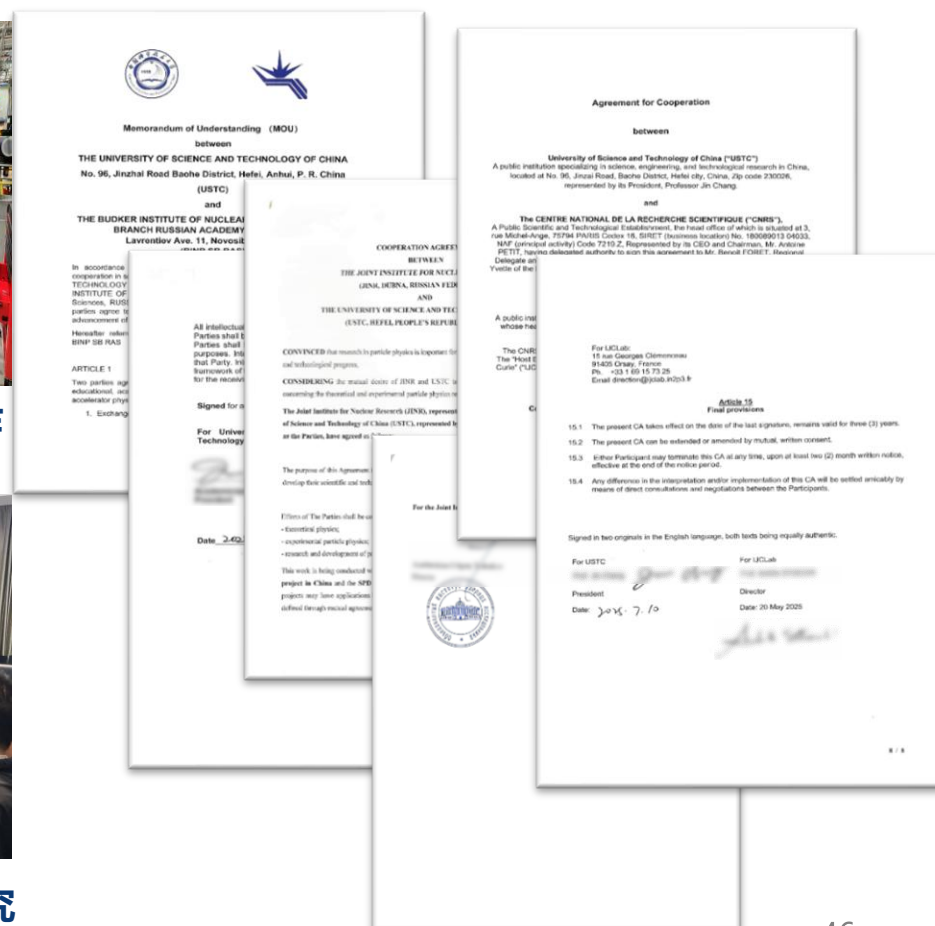
与CERN气体探测器组合作



与BINP加速器专家合作

与BINP团队交流

与KEK加速器专家合作研究



面向全球公开征集研究意向：分布广泛、需求强烈

收到参研意向书

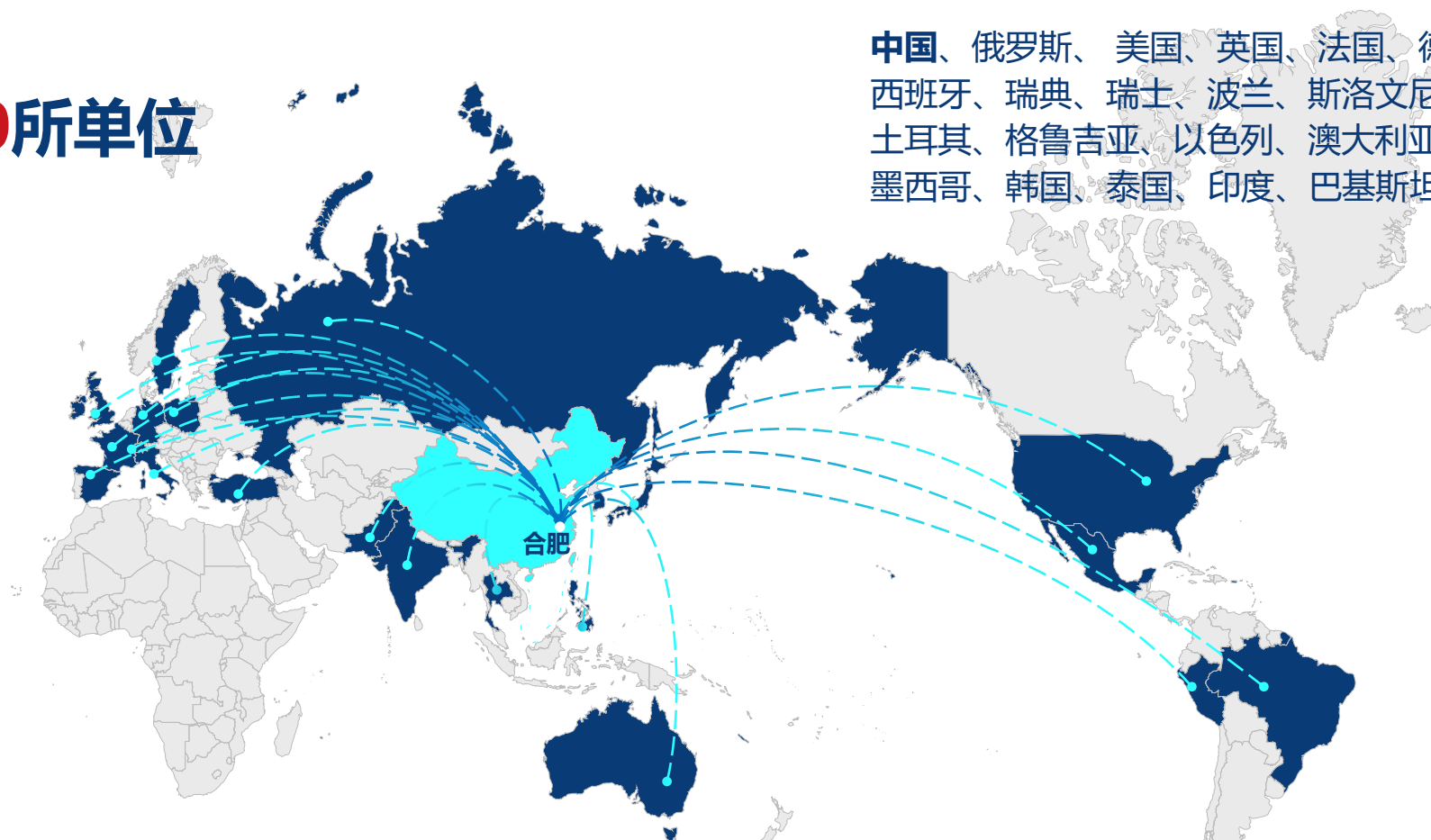
27个国家，160所单位

国内

88所，583人

国外

72所，240人



中国、俄罗斯、美国、英国、法国、德国、日本、意大利、西班牙、瑞典、瑞士、波兰、斯洛文尼亚、爱尔兰、巴西、土耳其、格鲁吉亚、以色列、澳大利亚、秘鲁、哥伦比亚、墨西哥、韩国、泰国、印度、巴基斯坦、菲律宾

国际顶尖研究机构: 欧洲核子中心、国家核物理研究院(意)、居里实验室(法)、高能加速器机构(日)、联合原子核研究所(俄)、布德科尔核物理研究所(俄) 等

国际一流大学: 牛津大学、加州大学圣迭戈分校、印第安纳大学、美茵茨大学、慕尼黑工业大学、莫纳什大学、隆德大学，罗马一大等

国内主要大学和研究所: 中国科学院近物所、中国科学院上海高研院、中国科大、科学院大学、清华、北大、浙大、复旦、上交大、南大、武大、北师大等

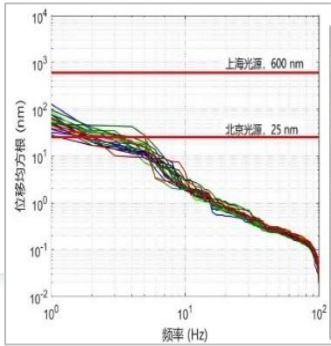
装置选址：合肥综合性国家科学中心

选址于合肥综合性国家科学中心的大科学装置集中区
毗邻合肥先进光源、核聚变等多个大科学装置，集群效应显著



主要内容	指标要求	解决方案
微振动	对撞环隧道地面、谱仪实验区地面在任意1秒内1~100 Hz频率范围内RMS振动位移积分值<30 nm	测量候选场地的振动情况，参考合肥先进光源项目，对装置设备、管道等内部振源采取减振控制措施，确保达到微振动要求
高稳定度恒温	对撞环隧道、谱仪实验区温度稳定度<±0.1 °C	综合考虑空调计、水冷、送风、气流、传感器、保温和地下恒温层利用等措施，实现隧道及实验区域的高稳定度恒温环境
不均匀沉降	对撞环隧道地面、谱仪实验区地面不均匀沉降<20μm/10米/年	选用地质稳定、经处理后的坚硬岩土作为持力层，采用桩筏基础和先进的隧道施工技术，确保满足沉降和形变的要求
水电气及低温条件	电负荷80MW，低温制冷量850W@4.5K	位于合肥大科学装置集中区，市政提供和保障水电气条件；低温系统采购成熟的国产大型氦制冷机
抗震	保证设施在罕遇地震下的安全	分析不同地震强度下的结构，对特别关键对撞区建筑和设备，采用基础隔震支座或阻尼器，主动消耗地震能量
特殊消防	确保超长隧道、大空间、精密仪器和特殊风险（辐射、强磁、低温液体）消防时人员和设备安全	专业消防设计和评估，制定早期预警，动态应急响应和主动智能防御措施，并制定特异性应急预案，确保人员和设备安全

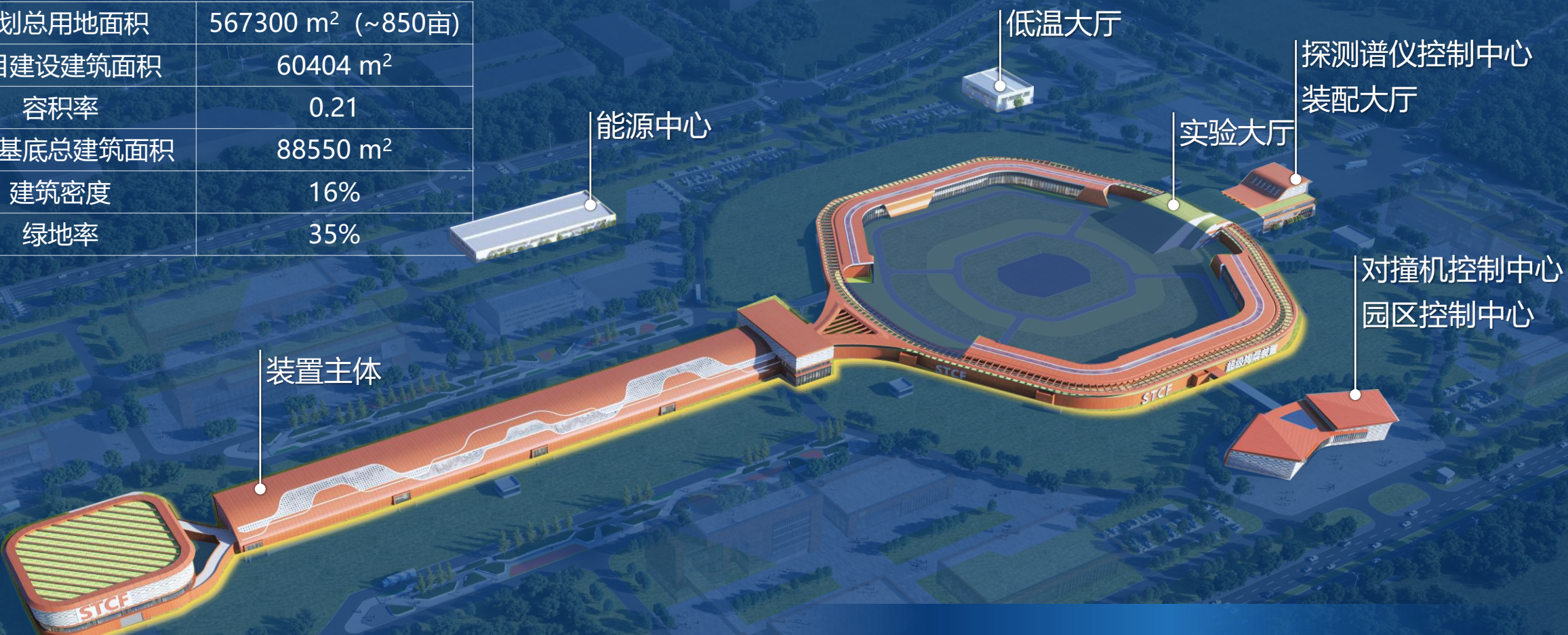
- 土建工程关键技术指标均已通过**场地勘察、环境测试与方案比选充分验证**
- **周边项目协调性、环境要素影响度及场地施工可行性**等满足需求
- 供电、供水、供气、供热、燃气、排水、通信、道路等**公共服务完备**
- **人员通勤和生活配套设施完善**



完成选址初步岩土勘察和环境微振动测试，适宜项目建设

超级陶粦装置园区布局

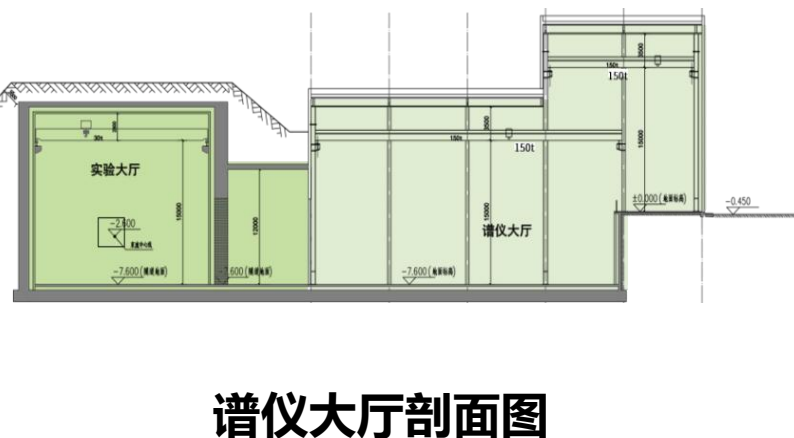
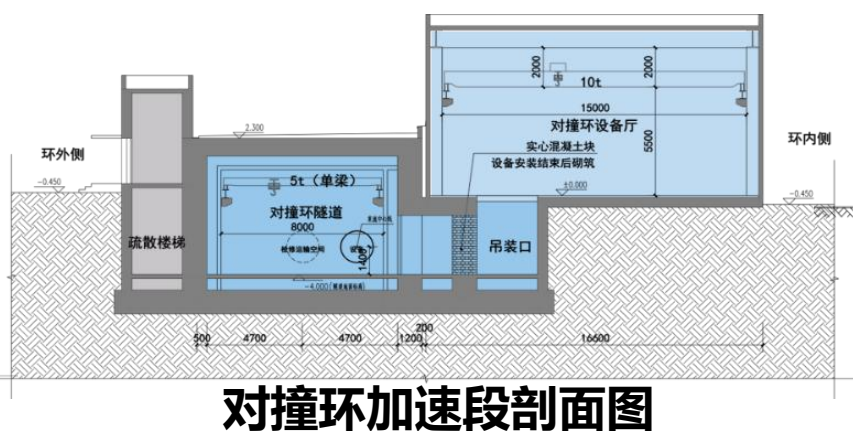
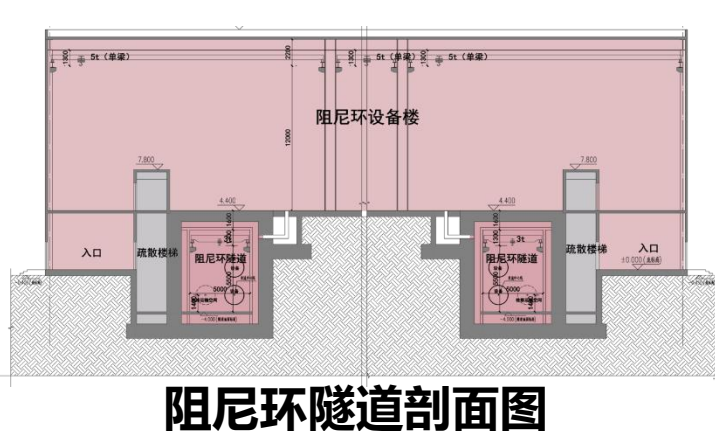
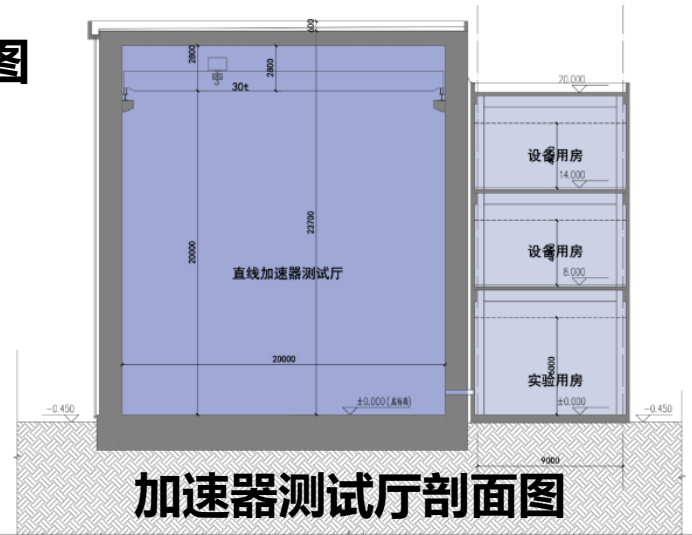
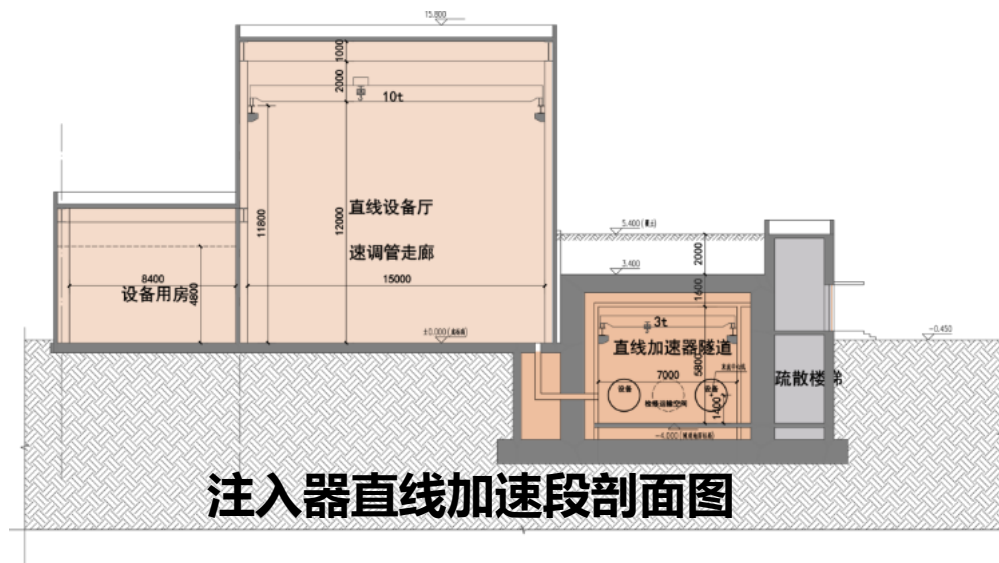
规划总用地面积	567300 m ² (~850亩)
项目建设建筑面积	60404 m ²
容积率	0.21
建筑基底总建筑面积	88550 m ²
建筑密度	16%
绿地率	35%



总占地面积约 **850 亩**
已考虑装置将来升级需求
已纳入国土空间总体规划

项目选址、配套条件与经费等
均获得安徽省和合肥市政府大力支持

完成平面图初步设计，验证了工程实施的可建造性，直接支撑项目投资估算和经济可行性



1. 项目简介

2. 项目科学目标

3. 关键技术攻关与预研进展

4. 项目组织

5. 十五五申报与下一步规划

6. 总结

“十五五”国家重大科技基础设施项目申报



2024年7月，兰州
建议书撰写动员会



2024年11月，六安
建议书讨论和物理目标凝练



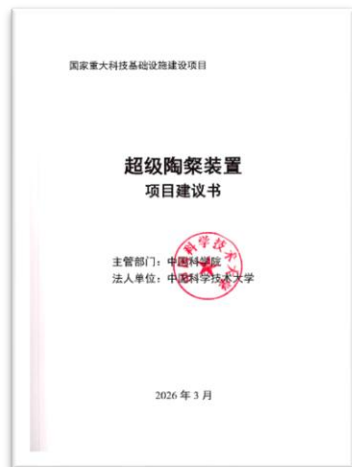
2025年7月，湘潭
建议书讨论、进度检查



2025年8月，六安
建议书初稿提交中国科学院



2025年10月，六安
建议书定稿提交国家发改委



中国科学院于2024年11月，
2025年9月进行两轮院内评审



2026年1月，国家发改委
属性评估 – 视频答辩



2026年2月，国家发改委
初步论证 — 视频答辩



2026年3月，国家发改委
竞争择优 — 现场答辩

进入发改委终评环节，暂无主管部门反馈意见

对我国高能物理领域发展而言

- 在当下加速器粒子物理领域全球发展状态下，我国加速器物理应如何调整发展战略
- 依据当前国内科技发展状态，加速器粒子物理未来10-20年的发展策略是什么
 - 近年来领域发展迅速，众多高校/科研单位建立粒子物理组，正处于初期
 - 本土装置与国际合作？近期与长期规划？
 - 在当前国内外环境下，制约装置落地的因素？怎么选择相应项目？

对STCF或我国陶粲物理和强子物理领域发展而言：

- 如何进一步体现STCF的历史使命--科学使命、技术使命、传承使命
- 如何进一步优化STCF的科学目标、技术方案和技术先进性
 - 北京正负电子对撞机/北京谱仪奠定了我国粒子物理领域基础---人材、技术、管理等
 - 经过几十年发展，陶粲能区是否还具备重大科学发现潜力？是否需要新装置？
 - 我国在该领域有优势地位的队伍，是否有机会在新装置上形成中国理论、中国学派？
 - 支撑我国本领域和学科的发展？技术发展，人材培养，“承上启下”作用？

对STCF作为大科学装置而言，“溢出效应”：

- 如何促进和扩大我国加速器粒子物理与全球的合作
- 如何展现加速器粒子物理产生的科技知识对社会发展的支撑、促动作用
 - BEPC/BES促进了中美合作，中欧合作，打开了我国国际科技合作的大门
 - 在当前“脱钩断链”和国际“战略竞争”背景下，基础研究大科学装置（普适的科学目标、非敏感核心技术）承载架设稳定、可持续的国际科技合作与交流桥梁？
 - 立足国家战略，产学研协同融合，沿途下蛋，实现科研创新与产业发展双向赋能，提升社会层面的重视和投资的意向？

- **预研任务高质量收官：**全面达标各项考核指标，形成完整的技术设计报告 (TDR)
- **系统总结阶段成效：**向主管部门专题汇报项目进展、核心成果，争取长效政策与资源支持
- **深耕核心科研布局：**优化重点研究方向，强化核心技术储备、补齐工程短板、完备开工前置条件
- **多渠道多途径推进：**加强沟通、寻找途径、内外并行、全面推进项目尽早立项
- **谋划长远发展路径：**依托国内外高端学术平台，对接院士专家等智库，开展中长期战略论证
- **拓宽国际协同渠道：**拓展全球及“一带一路”科研合作网络，引入海外力量，落地技术与资源支撑
- **深化产业融合转化：**与产业链重点企业产学研协同融合，遴选前沿核心技术落地转化与工程应用，实现科研创新与产业发展双向赋能，提升社会层面的重视和投资的可能

继续努力、多措并举、力争“十五五”、放眼“十六五”

1. 项目简介

2. 项目科学目标

3. 关键技术攻关与预研进展

4. 项目组织

5. 十五五申报与下一步规划

◆ 6. 总结

- **装置优势：**独创独有，综合性能国际领先，科学发现能力突出，将持续产出世界级原创成果，引领陶粲物理与相关尖端技术研究领域
- **研究现状：**关键技术攻关、项目预研与推动进展顺利，已具备开工实施条件；方案广受国内外同行专家高度认可，领域关注度持续提升
- **申报进展：**进入“十五五”国家重大科技基础设施终评环节，暂无主管部门反馈意见
- **近期任务：**高标准收官关键技术攻关项目，全面达标考核指标，形成技术设计报告
- **长远布局：**持续攻坚，多方统筹、完备项目开工前置条件；系统谋划中长期发展战略，拓宽全球及“一带一路”科研合作版图；促进核心技术落地转化

衷心感谢大家长期支持 谢谢！