



粒子物理前沿卓越中心2019年度考核报告

王毅伟

中科院高能所 加速器中心

2019年12月7日



个人简历

王毅伟

2004.9-2008.7 北京理工大学物理系 本科

2008.9-2014.1 中科院高能所 加速器物理 博士
博士论文“CLIC主直线加速器束流动力学及ILC/CEPC最终聚焦系统束流光学研究”，期间访问CERN和LAL

2014.4-至今 中科院高能所 加速器中心

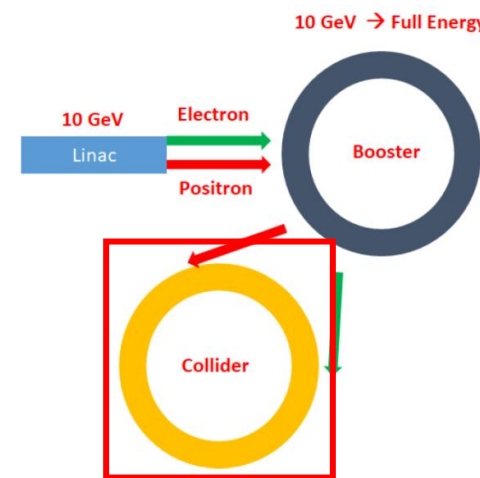
主要从事**CEPC的加速器物理设计和研究**

期间两次访问KEK，进行SuperKEKB对撞区束流光学优化、PhaseII调束

2018年参加卓越中心“拔尖人才”评选，获“青年优秀人才奖”



主要研究方向及2019年工作



主要研究方向

- CEPC对撞亮度指标的实现
 1. 极小的对撞点束流尺寸: 足够好的**Lattice设计**
 2. 足够的束流寿命: 足够大的**动力学孔径**

因此, **CEPC对撞环的Lattice设计**和**动力学孔径优化**是CEPC加速器设计的核心工作之一, 是CEPC加速器物理和硬件系统设计的基础。

- 负责完成CEPC加速器概念设计中碰撞环Lattice设计、作为主要成员完成动力学孔径优化, 通过了国际评审, 获得评审专家的好评。该工作在CEPC MOST1项目中列为中期总结报告的重要创新点之一。
- 提供了CEPC对撞环关键部件参数 (双孔径磁铁、静电分离器、对撞区超导四极铁), 成为样机设计的依据。

2019年工作

- CEPC对撞环的高亮度lattice设计
- CEPC对撞环的动力学孔径优化
- CEPC-SPPC的兼容性研究
- 其他工作

- higher luminosity at H (5.2×10^{34} vs 2.9×10^{34})
- “High-Lumi” for Z (102×10^{34} vs 32×10^{34})
- assuring compatibility for top-pair production at the appropriate energy (~ 365 GeV)
- higher energy injection into the booster with a longer linac
- capability to handle 50 MW SR power
- compatibility with SppC collider layout.

All of them expand the capability of the project with a moderate increase of the cost.

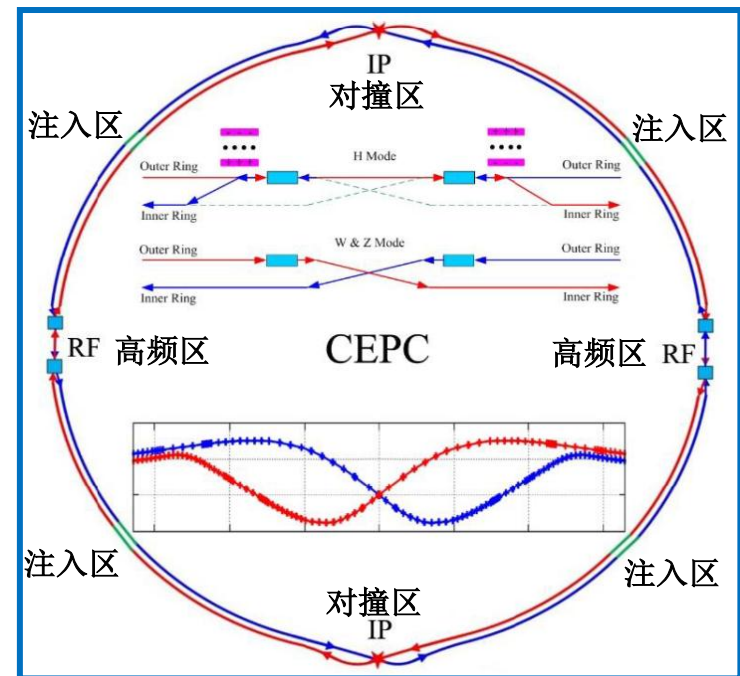
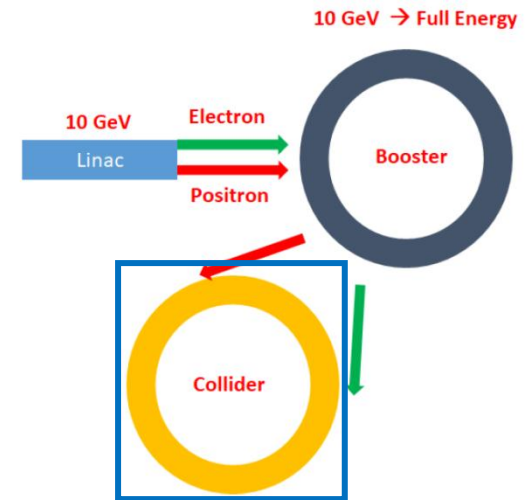


CEPC对撞环的高亮度lattice设计



• CEPC对撞环lattice设计难点：

- **物理参数要求很高**：高能量120GeV，高亮度 $5.2 \times 10^{34}/\text{cm}^2/\text{s}$ ，大能量接受度1.7%
- **兼容4种束流能量模式**：
120GeV(Higgs), 80GeV(W), 45.5GeV(Z), 175GeV (tt)
- **几何复杂**：双环间距小 (0.35m) 横向空间狭窄，弧区采用双孔径反极性四极铁，与SPPC几何的兼容
- **严格控制全环束流辐射功率、发射度、束流本底**
- **高频区要求双环共用高频腔**

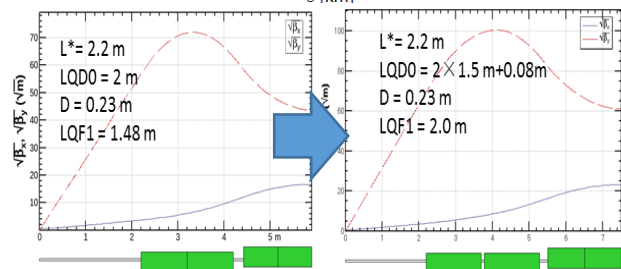
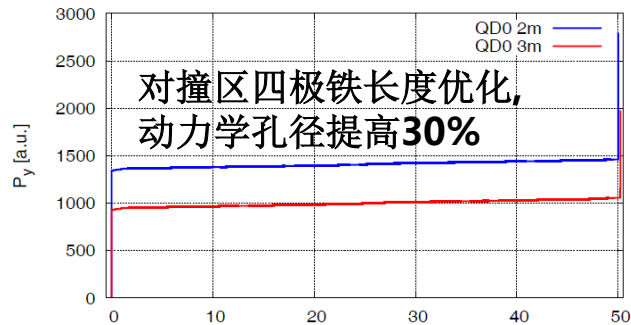




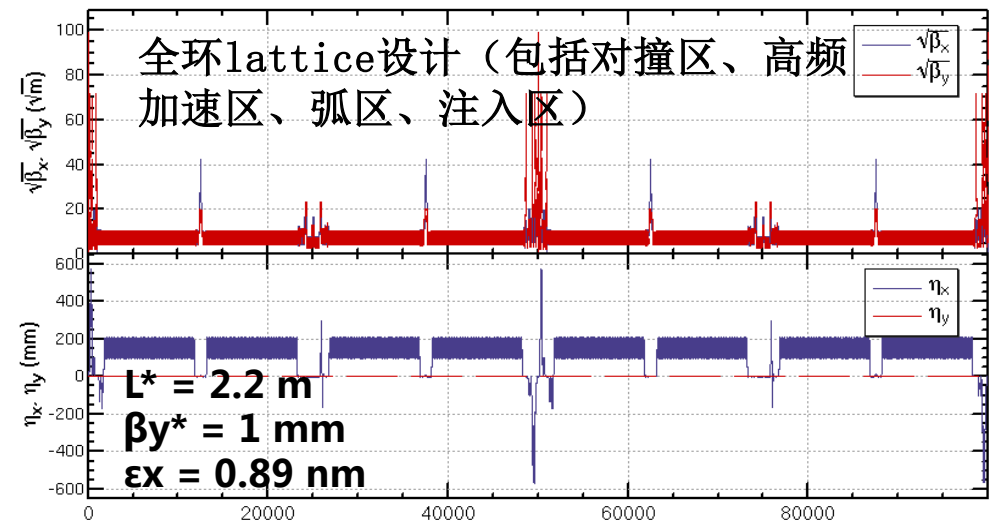
CEPC对撞环的高亮度lattice设计

1. 对撞亮度指标从CDR的 $3 \times 10^{34}/cm^2/s$ 提升为 $5.2 \times 10^{34}/cm^2/s$ 的lattice设计

- 降低对撞点垂直beta函数及全环发射度，并将色品校正至更高阶 ← 达到瞬时亮度
- 为降低单束团同步辐射功率，优化布局，将二极铁的填充因子最大化
- 优化对撞区及弧区四极铁长度，降低其辐射量子激发效应对动力学孔径的影响 ← 足够的束流寿命
- 优化注入区，降低注入对动力学孔径的要求
- 兼容4种束流能量模式**：120GeV(Higgs), 80GeV(W), 45.5GeV(Z), 175GeV (tt, 磁铁强度冗余及高频腔位置已经预留，只需重新匹配6块四极铁强度)



	CDR lattice	高亮度 lattice
发射度	1.21nm	0.89nm
弧区周期长度	342.9m	312.8m
漂移节总长度	31.8m	10.2m
二极铁总长度	286.9m	268.4m
四极铁总长度	20m	30m
六极铁总长度	4.2m	4.2m
二极铁填充因子	83.7%	85.8%
四极铁填充因子	5.8%	9.6%



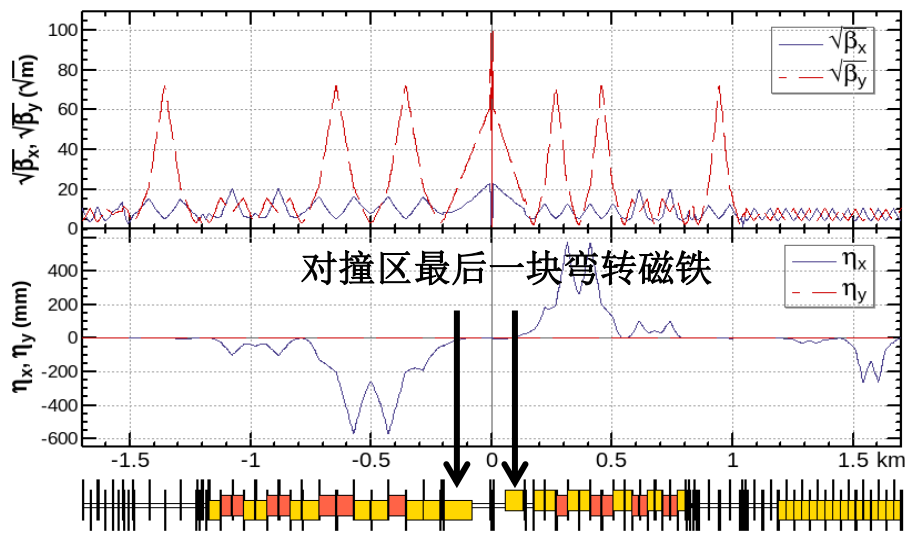
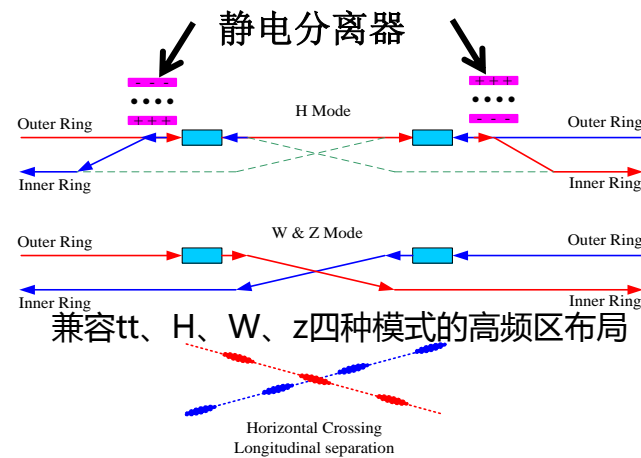


CEPC对撞环的高亮度lattice设计

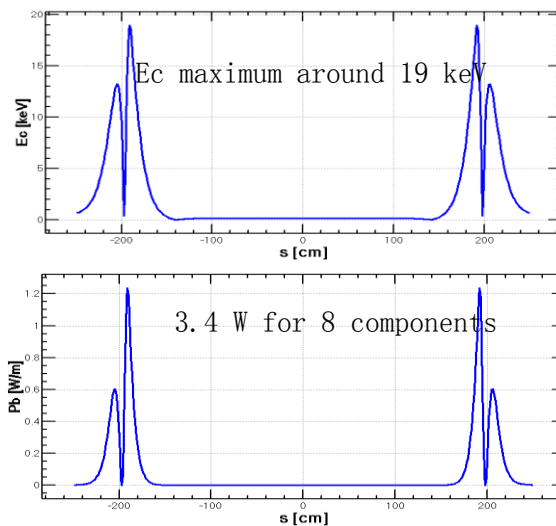


2. 束流本底及关键部件参数优化

- 降低了对撞区超导四极铁梯度
 - $G_{QD0} = 77 \text{ T/m}$, $G_{QF1} = 63 \text{ T/m}$, $L_{QD0} = 3.0\text{m}$, $L_{QF1} = 2.0\text{m}$
 - $G_{QD0} = 136\text{T/m}$, $G_{QF1} = 111\text{T/m}$, $L_{QD0} = 2.0\text{m}$, $L_{QF1} = 1.48\text{m}$ (CDR)
- 大幅降低了对撞区的光子本底
 - IP upstream: last bend $E_c = 25.5\text{keV}$ (45 keV CDR)
 - IP downstream: last bend $E_c = 36.6\text{keV}$ (97 keV CDR)
- 确定了共用高频腔方案的关键设备“静电分离器”的技术参数要求。



静电分离器边缘场引起的辐射对高频腔的影响



静电分离器样机设计依据

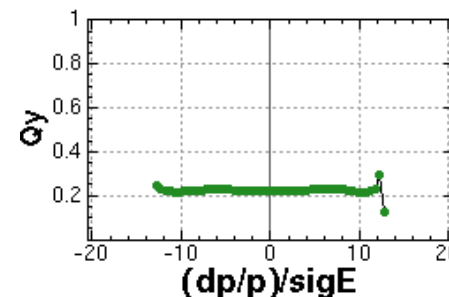
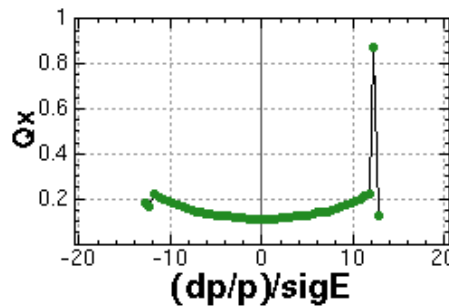
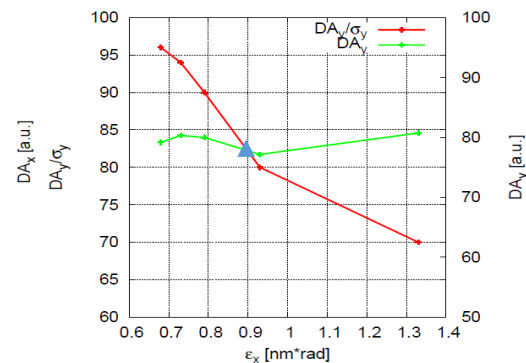
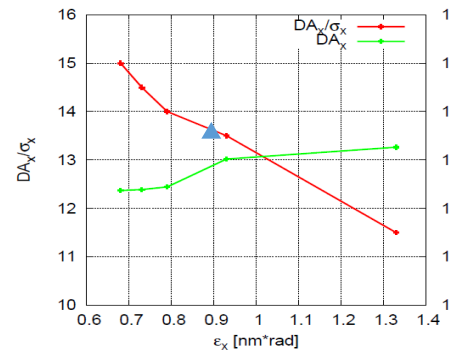
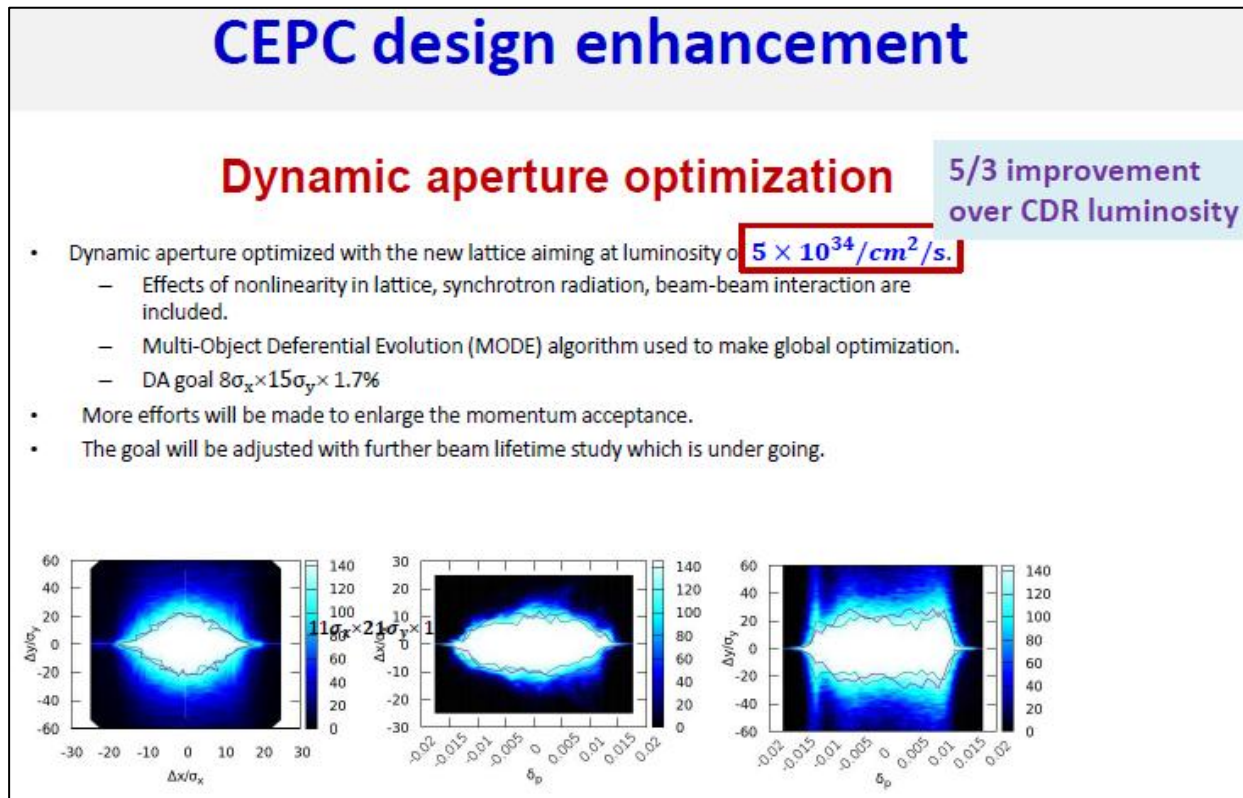
	Electrostatic Separator	BEND
Quant	40	40
Gap[mm]	-	110
Fmax	2 MV/m	66.7 Gauss
Leff[m]	4	4
Hgf/Vgf [mm]	31.146/5.339	31.146/5.339
Fig. U.	3E-4	3E-4
Stability	5E-4	5E-4
Twin Apert.	N	N
Power	series-wound	series-wound



CEPC对撞环的动力学孔径优化

1. 对撞环高亮度lattice的动力学孔径优化

- 对lattice非线性逐项优化，提供动力学孔径优化足够好的起点。
- 采用多目标优化程序进一步优化（与吴尽、张源合作），并反馈lattice迭代优化
- 优化结果 $18\sigma_x * 21\sigma_y * 1.5%$ ，on-momentum动力学孔径已经满足要求，能量接收度正在优化进一步优化。
- 已经找到有效的优化方向：1. 降低发射度，动力学孔径将增大；2. 高阶水平色品导致的耦合共振



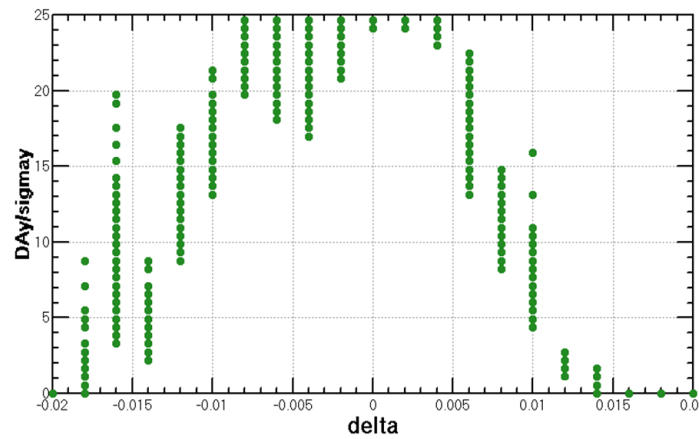
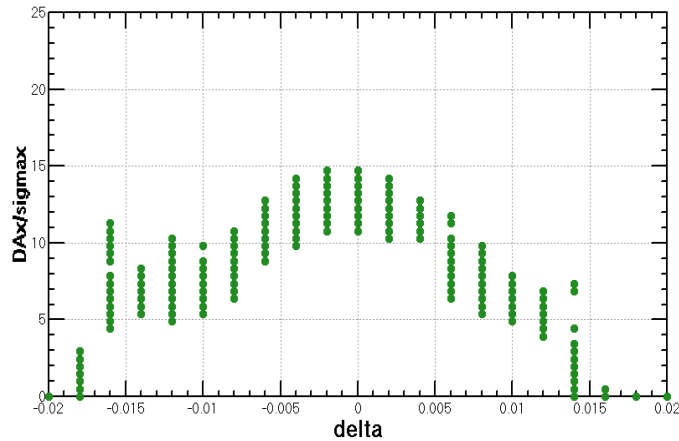


CEPC对撞环的动力学孔径优化

2. 完成CEPC误差分布对动力学孔径的影响研究

- 研究了**高阶场误差**的动力学孔径影响。
- 得到了包含高阶场误差、准直误差、主场误差的动力学孔径，**满足动力学孔径的要求**。

Ref: 1. Yiwei Wang, HKUST IAS 2019, Hongkong. 2. Chenghui Yu, WEYPLM1, IPAC19大会邀请报告.



Achieved: $10\sigma_x \times 17\sigma_y \times 0.014$
Requirement: $8\sigma_x \times 15\sigma_y \times 0.035$

魏源源提供误差分布

Component	Δx (mm)	Δy (mm)	Δz (mm)	$\Delta\theta_x$ (mrad)	$\Delta\theta_y$ (mrad)	$\Delta\theta_z$ (mrad)	Field error
Dipole	0.10	0.10	0.10	0.1	0.1	0.1	0.01%
Arc Quadrupole	0.10	0.10	0.10	0.1	0.1	0.1	0.02%
FF Quadrupole	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	
Sextupole	0.10	0.10	0.10	0.1	0.1	0.1	

Dipole	Quadrupole(Without FF)	Sextupole
$B_2/B_0 \leq 4 \times 10^{-4}$	$B_2/B_1 \leq 4 \times 10^{-4}$	$B_3/B_2 \leq 20 \times 10^{-4}$
$B_3/B_0 \leq 0.8 \times 10^{-4}$	$B_3/B_1 \leq 4 \times 10^{-4}$	$B_4/B_2 \leq 3 \times 10^{-4}$
$B_4/B_0 \leq 0.2 \times 10^{-4}$	$B_4/B_1 \leq 2 \times 10^{-4}$	$B_5/B_2 \leq 20 \times 10^{-4}$
$B_n(n>4)/B_0 \leq 0.8 \times 10^{-4}$	$B_n(n>4)/B_1 \leq 1 \times 10^{-4}$	$B_n(n>5)/B_2 \leq 10 \times 10^{-4}$

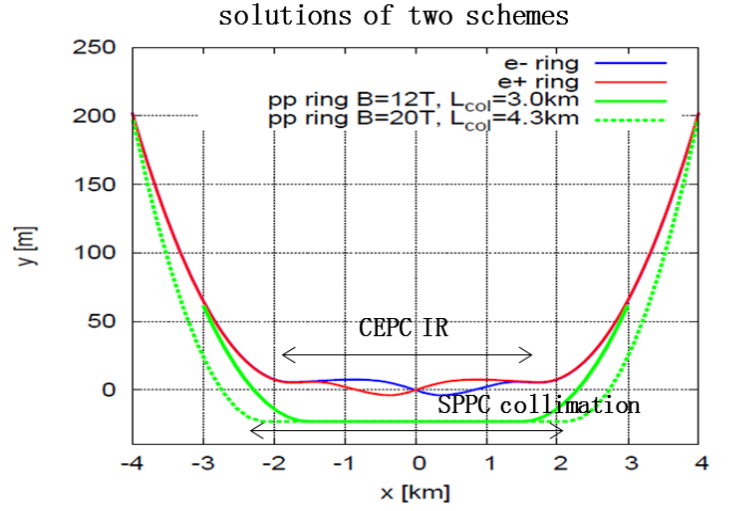
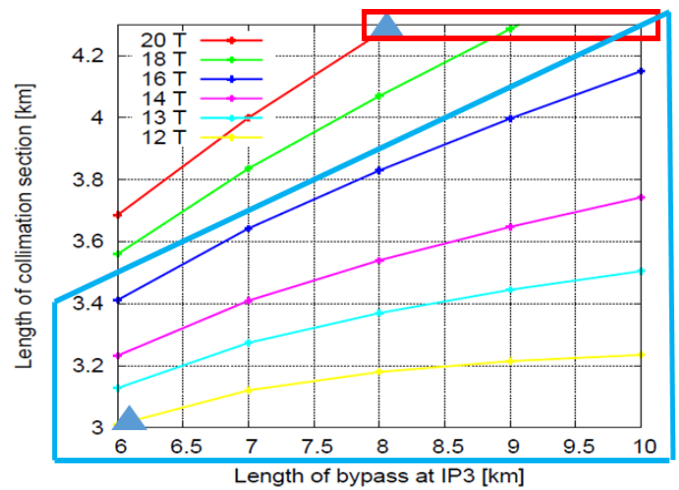
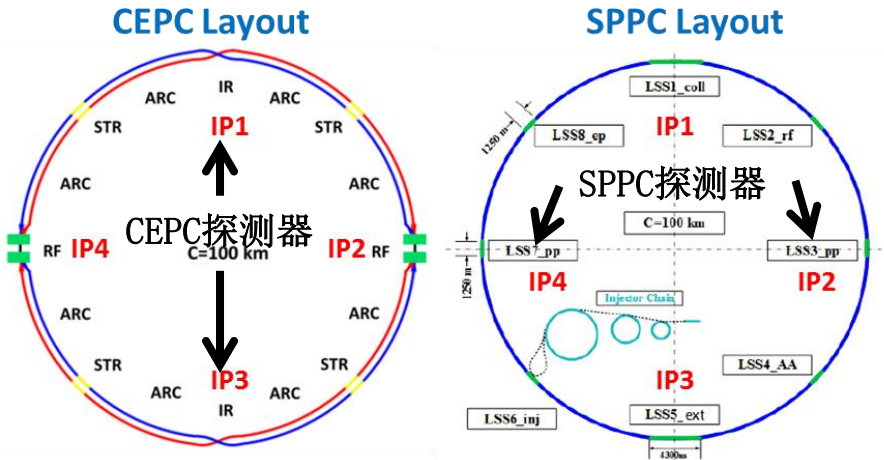


CEPC-SPPC兼容性研究



Yiwei Wang, Yukai Chen

- IP1和IP3处将安装CEPC探测器，IP2和IP4将安装SPPC探测器。由于探测器尺寸很大，在这四个位置，SPPC需要绕过CEPC。
- 对于IP1和IP3，SPPC束流准直区比CEPC对撞区长。保持SPPC准直区长度，无法使用二极铁基准设计（12T），在较短的长度内绕过CEPC。
- 2018年CEPC IAC会议提出需要解决IP1和IP3处CEPC与SPPC兼容性。
- **找到两种bypass方案，在大部分区域CEPC和SppC可以兼容在同一隧道。**



	IP2 & IP4	IP1 & IP3
SPPC	1.25 km	4.3 km
CEPC	3.42 m	3.32 m

Ref: Yiwei Wang, CEPC-SPPC compatibility, 18-20 Nov 2019, IHEP, Beijing.



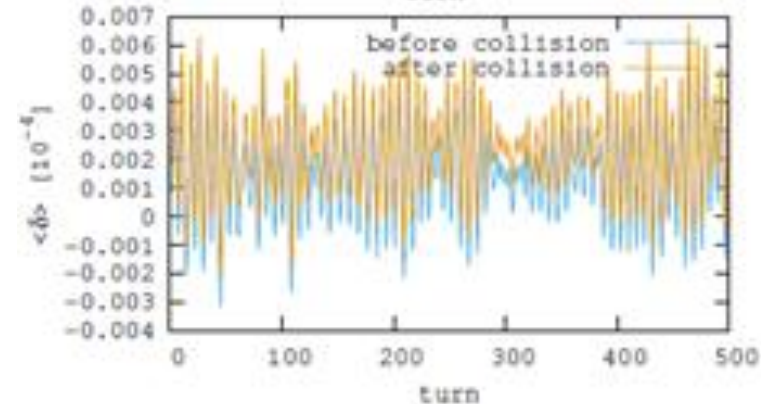
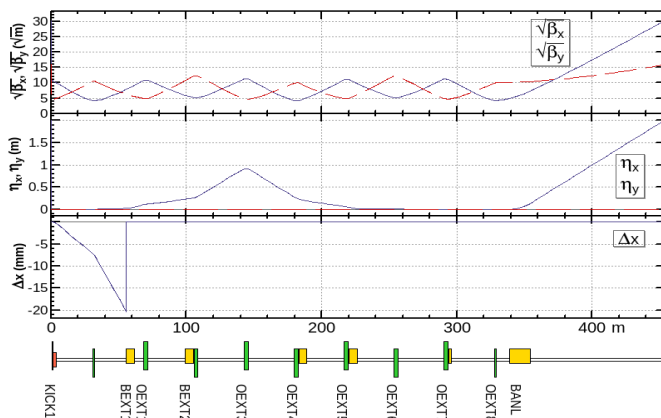
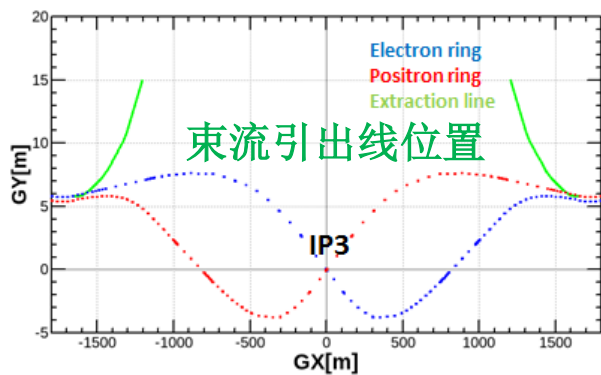
CEPC其他加速器物理研究



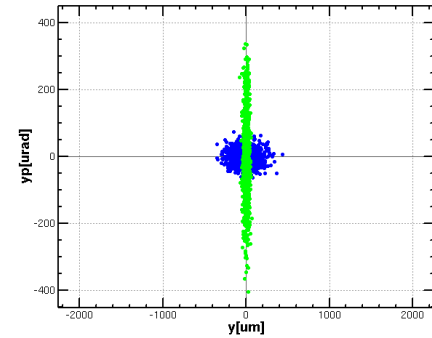
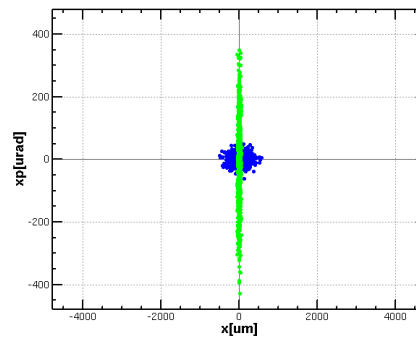
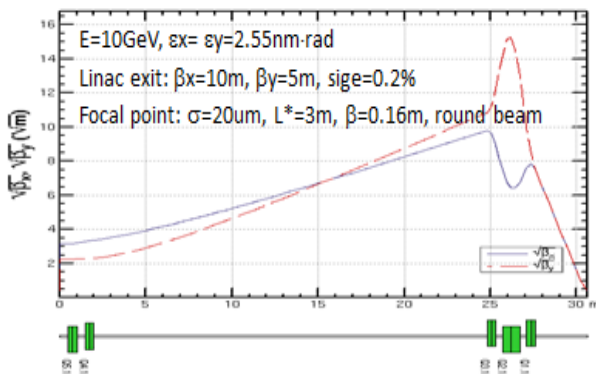
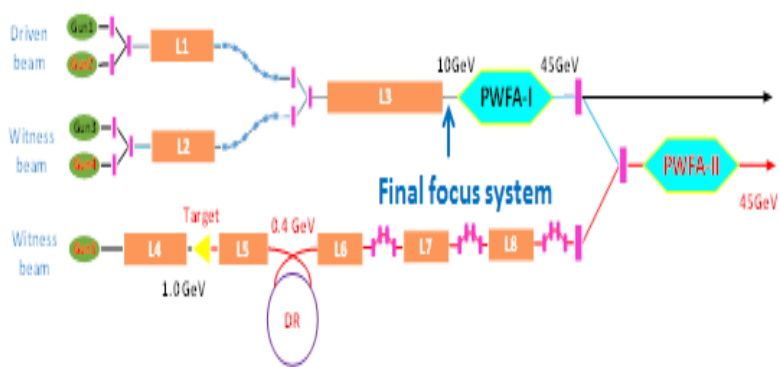
- 负责完成CEPC Higgs能区能量测量系统**束流引出线**的初步设计，满足能量测量精度 $1E-5$ 的要求，并给出了磁铁技术参数。

Abstract submitted to IPAC20

Yiwei Wang, Yongsheng Huang, Guangyi Tang, Yuan Chen



- 负责完成等离子注入器方案中，电子直线加速器末端**进入等离子体加速器的最终聚焦段**初步设计，满足等离子体加速器对注入束团尺寸的要求。Yiwei Wang, Cai Meng, Dazhang Li





文章发表及学术交流



国际会议邀请报告

1. Y. W. Wang et al., Beam optics design of the CEPC collider ring with SAD, **SAD Workshop 2019**, 18-19 Sep 2019, KEK, Japan. (45min+15min) **代表CEPC加速器物理组作45分钟CEPC lattice设计及动力学孔径优化的口头报告。**
2. Y. W. Wang et al., Lattice Design of the CEPC Collider Ring for A Higher Luminosity, CEPC Workshop-EU edition, 15-17 April 2019, Oxford.
3. Y. W. Wang et al., CEPC Collider Ring Optimization Towards The TDR, HEP conference 2019 of the HKUST IAS, Hong Kong, 21-24 Jan. 2019.
4. Yiwei Wang, Status of CEPC collider ring lattice, 18-20 Nov 2019, IHEP, Beijing.
5. Yiwei Wang, CEPC-SPPC compatibility, 18-20 Nov 2019, IHEP, Beijing.

期刊及会议文章

1. **Y. W. Wang** et. al., The energy sawtooth effects in the partial double ring scheme of CEPC, International Journal of Modern Physics A Vol. 34, Nos. 13 & 14 (2019) 1940008.
2. **Y. W. Wang** et. al., A beam optics design of the interaction region for the CEPC Single Ring Scheme, International Journal of Modern Physics A Vol. 34, Nos. 13 & 14 (2019) 1940007.
3. **Y. W. Wang** et. al., Synchrotron radiation effects on the dynamic aperture of CEPC collider, International Journal of Modern Physics A. (审稿中)
4. S. Bai, C. H. Yu, **Y. W. Wang**, Y. S. Zhu, J. Gao, Accelerator physics design in the interaction region for CEPC double ring scheme, Int.J.Mod.Phys. A34 (2019) no.13n14, 1940002.
5. Sha Bai, Jie Gao, Huiping Geng, Dou Wang, **Yiwei Wang**, Chenghui Yu, Yuan Zhang. Beam-Gas and Beam-Thermal Photon Scattering in CEPC, 10.18429/JACoW-IPAC2019-MOPRB024.
6. Z. Duan, J. Gao, X. P. Li, D. Wang, **Y. W. Wang**, W. H. Xia, Q. J. Xu, C. H. Yu and Y. Zhang , Concepts of longitudinally polarized electron and positron colliding beams in the circular electron positron collider , IPAC2019.



主持及参与课题



项目名称	项目类别	项目经费	本人角色	起止时间
CEPC局部双环方案的动力学孔径研究	国家自然科学基金青年课题	22万	主持、CEPC对撞环的动力学孔径研究	2017-2019
高能环形正负电子对撞机相关的物理和关键技术预研究 (CEPC MOST1)	国家重点研发计划	3600万	负责CEPC对撞环lattice设计; 动力学孔径优化核心成员	2016-2021
高能环形正负电子对撞机关键技术研发和验证 (CEPC MOST2)	国家重点研发计划	3200万	课题骨干、CEPC在Z能区极化束流的加速器物理研究与设计成员	2018-2023
CEPC加速器物理及关键技术研究	所创新基金项目	600万	CEPC对撞区lattice设计; 动力学孔径优化	
未来高能前沿正负电子对撞机	中科院前沿科学重点研究计划	300万	主要人员	2016-2019
未来大型环形对撞机关键加速器物理研究	国家自然科学基金面上课题	73万	主要人员	2016-2018
未来正负电子环形对撞机的若干束流物理效应研究	国家自然科学基金面上课题	84万	主要人员	2018-2020
CEPC局部双环对撞区挡板系统设计	国家自然科学基金青年课题	22万	主要人员	2017-2019



- **审稿**IAS2019文章1篇, IPAC2019文章1篇.
- 承担**CEPC加速器物理计算环境搭建**
 - 刀片服务器一笼约500核, 已经用于动力学孔径优化、束束模拟等。
- 承担**学生指导工作**
 - 正在指导博士生夏文昊进行束流极化条件下CEPC对撞环lattice的改进。
- **协助**完成CEPC束流极化的**2019年面上基金**撰写、申请工作, **已获批**。
- 撰写**CEPC国家重点研发计划项目1**的各季度简报、年度及中期进展报告和科技报告
- 参加CEPC对撞环设计相关的**物理及硬件讨论会**。



总结



- **主要研究方向**：CEPC对撞环的Lattice设计和动力学孔径优化是CEPC加速器设计的核心工作之一，是CEPC加速器物理和硬件系统设计的基础。
 - 负责完成CEPC加速器概念设计中**对撞环Lattice设计**、作为主要成员完成**动力学孔径优化**，通过了国际评审，获得评审专家的好评。该工作在CEPC MOST1项目中列为中期总结报告的重要创新点之一。
 - 提供了CEPC对撞环关键部件参数（双孔径磁铁、静电分离器、对撞区超导四极铁），成为样机设计的依据。
- **2019年主要工作亮点**：
 - **完成对撞亮度指标从CDR的 $3 \times 10^{34}/cm^2/s$ 提升为 $5.2 \times 10^{34}/cm^2/s$ 的高亮度lattice设计。**
 - **完成对撞环高亮度lattice的动力学孔径优化，on-momentum动力学孔径已经满足要求。**
 - **找到两种bypass方案，在大部分区域CEPC和SppC可以兼容在同一隧道。**
- 以第一作者发表期刊文章2篇（另有1篇正在审稿中）。受邀参加国际会议并作口头报告5次，其中**代表CEPC加速器物理组在SAD workshop 2019作45分钟关于CEPC lattice设计及动力学孔径优化的报告。**以合作作者发表期刊及会议文章共3篇。
- **2018年参加卓越中心“拔尖人才”评选，获“青年优秀人才奖”。**

感谢各位评委老师！