CEPC对撞机概念设计(CDR)
CEPC加速器:关键技术预研、土建及产业化

高 杰

CEPC加速器团队

中科院高能物理研究所

高能环形正负电子对撞机落户雄安可行性研讨会

2018年7月12日，高能所，北京

内容目录

- CEPC 概念设计报告（CDR）物理目标及加速器设计目标
- CEPC 加速器 CDR 设计完成情况
- CEPC关键技术预研及产业化准备（产业界参与）
- CEPC CDR 土建设计
- 结语

CEPC-SppC 物理目标 CDR

- 正负电子对撞机（质心能量90，160，250 GeV)
  - Higgs Factory（10^6 个Higgs）：
    - 精确研究 Higgs(m_H, J^{PC}, couplings)
    - 发现和研究新物理
  - Z & W 工厂（10^{10} 个Z^0）：
    - 精确检验标准模型
    - 稀缺衰变
  - 味工厂：b, c, t and QCD 研究
- 质子质子对撞机(质心能量~100 TeV)
  - 直接探索标准模型之外的新物理
  - 精确检验标准模型
    - 例如： h^3 & h^4 耦合

CEPC 设计 －Higgs 参数

参数	设计目标
粒子种类	e+， e−
质心能量	2*120 GeV
亮度	>2*10^34/cm^2s
对撞点数	2

CEPC 设计 － Z-pole 参数

参数	设计目标
粒子种类	e+， e−
质心能量	2*45.5 GeV
亮度	>10^34/cm^2s
对撞点数	2
极化	将在CDR之后进行

*本表中的亮度是最低设计亮度要求

CEPC-SPPC 时间表（理想）

CEPC

2015	2020	2025	2030	2035

Pre-studies (2013-2015)

R&D 工程设计阶段 (2018-2022)

建造阶段 (2022-2030)

实验阶段 (2030-2040)

1st Milestone: Pre-CDR2015年完成）；2nd Milestone: 2016年从科技部获得R&D 经费；
3rd Milestone: 2017年4月完成CEPC 进展报告；4th Milestone: 2018年7月完成CEPC CDR；
5th Milestone: 2022年完成CEPC TDR)；6th Milestone: 2022年CEPC进入建造阶段 ；7th Milestone: 2030年CEPC完工进入实验取数阶段

SPPC

2020	2030	2040

R&D 和SppC CDR (2014-2035)

工程设计阶段 (2035-2040)

建设jieduan (2040-2045)

实验阶段 (2045-2060)

CEPC 加速器五大系统介绍

10 GeV

1) 直线加速器

L=1.2km

电子

正电子

2) 增强器

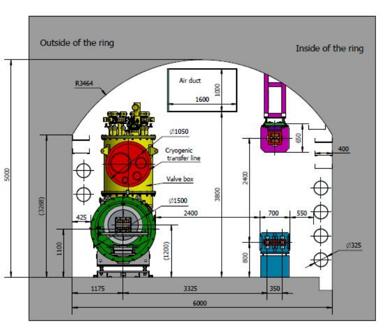
C=100km

升能能力
10 ->45/120GeV

三个环形加速器在同一隧道：
1）对撞环　2）增强器
3）SppC

5）土建工程

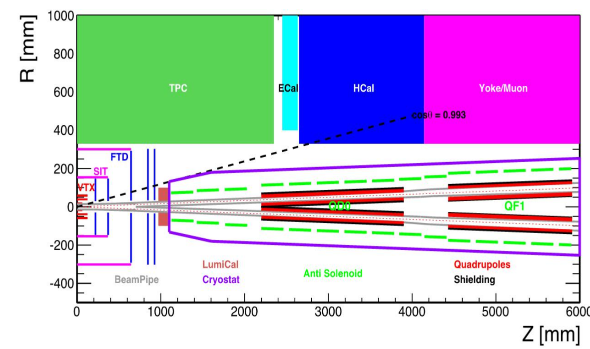
TUNNEL CROSS SECTION OF THE ARC AREA



3) 对撞环

C=100km

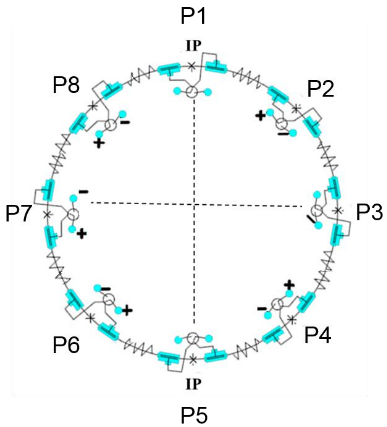
45/120 GeV



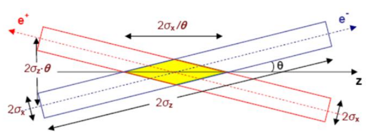
4）CEPC探测器

CEPC 四种设计选项的 CDR确定过程

CEPC 预概念设计报告(无角度对撞)



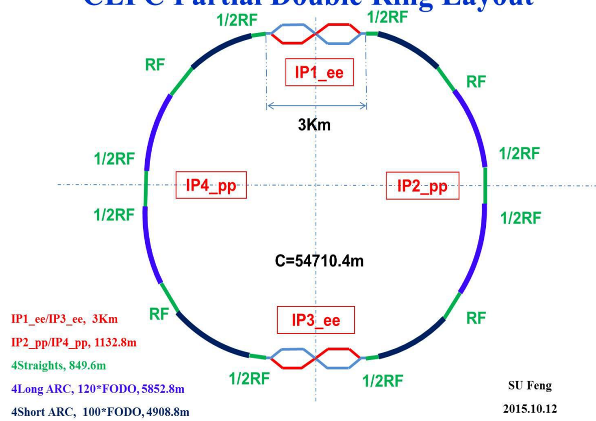
自 2012年10月



CEPC CDR 带角度Crab-waist对撞

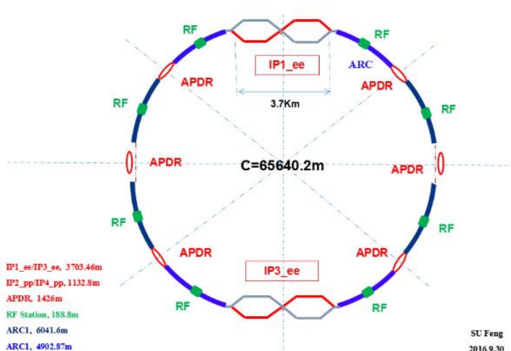
CEPC 局部双环方案

CEPC Partial Double Ring Layout



自 2015年5月

CEPC Advanced Partial Double Ring Option II

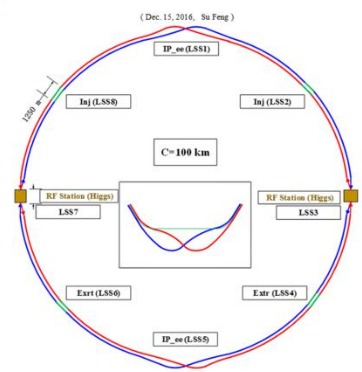


CEPC 先进局部双环方案

自 2016年5月

CEPC Alternative Design

Lower cost and reaching the fundamental requirement for Higgs and Z luminosities, under the condition that sawtooth and beam loading effects be solved



CEPC CDR 双环方案

自2016年11月

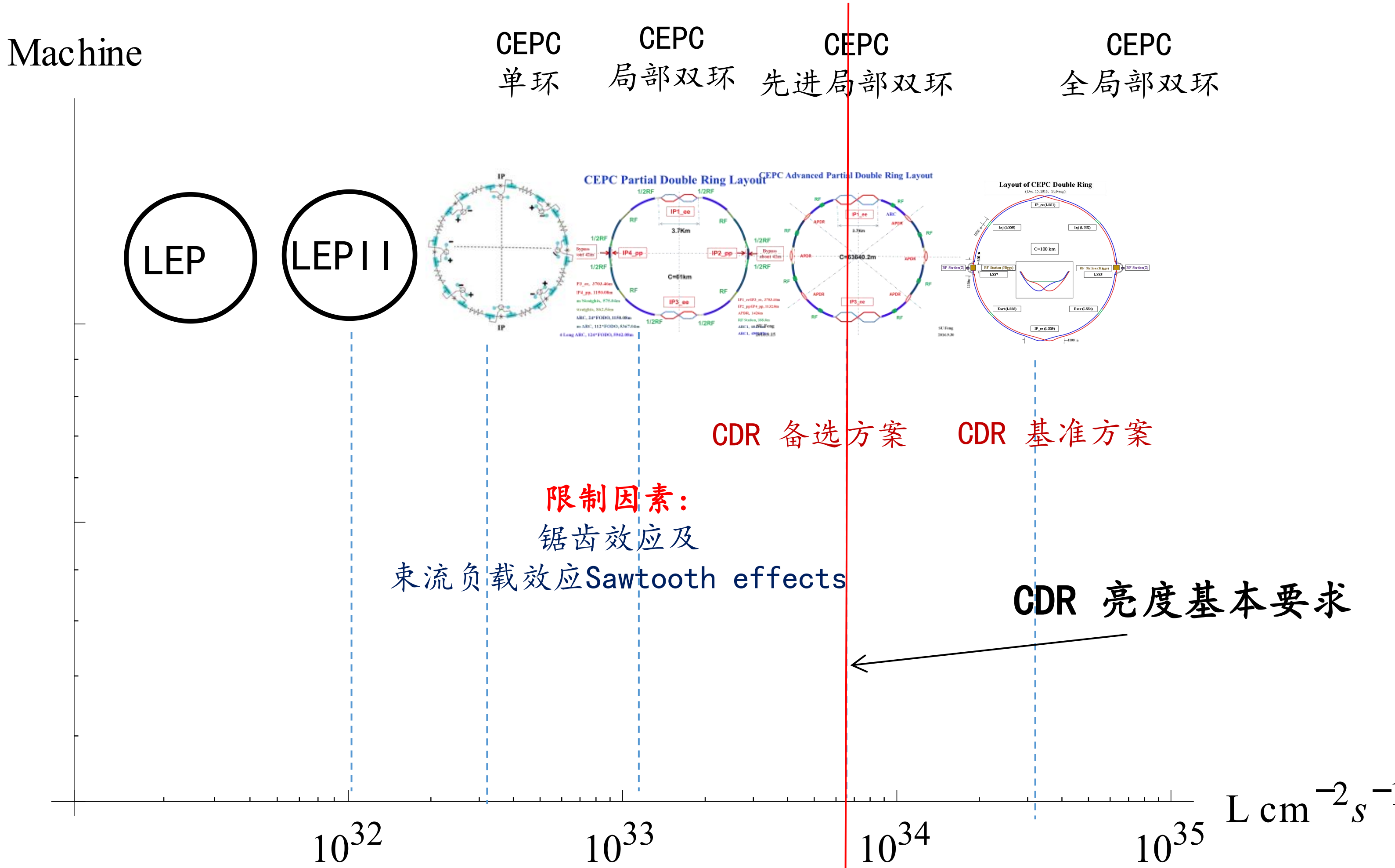
CEPC Baseline Design

Better performance for Higgs and Z compared with alternative scheme, without bottle neck problems, but with higher cost

30MW synchrotron radiation power/beam

- 2016年11月CEPC 长度定为100km
- 2017年1月4日CEPC指导委员会确定了CEPC双环CDR基准设计 和先进局部双环作为备选方案

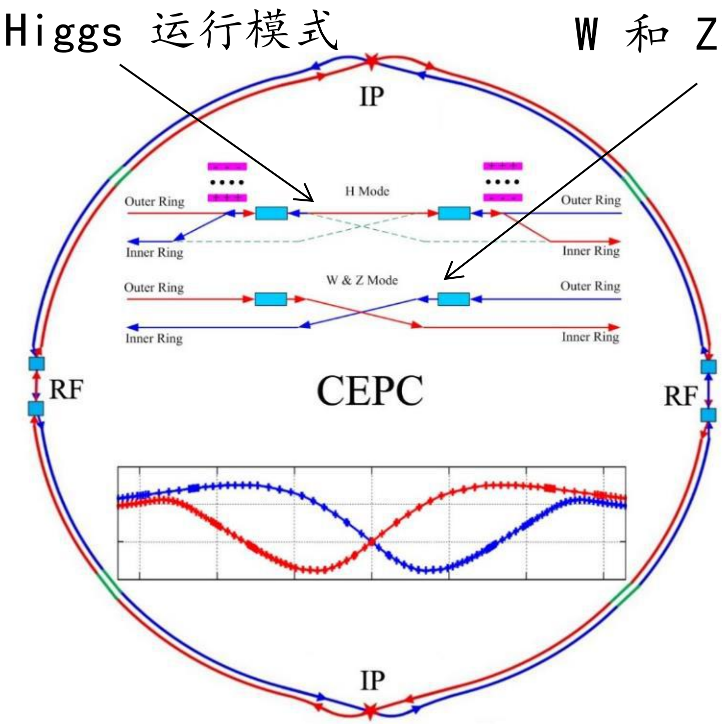
对撞机选型与亮度对应关系



亮度 H: 10^32 (102GeV) <~2*10^34 >2~5*10^34 (cm^-2s^-1)

亮度 Z: 10^32 <~1*10^34 >10*10^34 (cm^-2s^-1)

CEPC 超导微波加速器运行模式设计：Higgs,W, and Z



- 希格斯工厂为首要优化目标，采用全局部双环方，正负电子束流共用相同的超导高频加速器系统
- W和Z工厂运行模式通过束流切换开关实现，是双环运行模式，电子和正电子具有独立超导高频加速器系统
- 希格斯工厂运行时电子和正电子束流辐射功率分别为30MW以便降低电网使用功率

CEPC CDR设计指导思想：首先是 Higgs 工厂，兼顾W和Z工厂 (三种运行模式)：

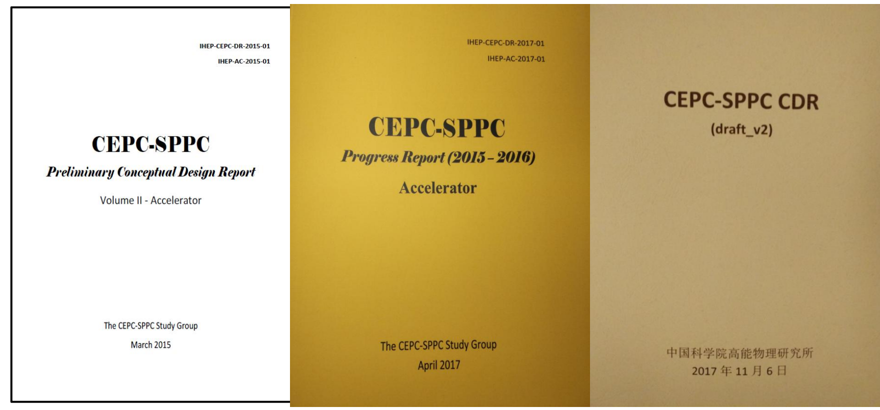
- Higgs, W, Z factories 采用相同的超导高频加速器硬件系统，通过束流切换开关进行三种不同运行模式之间的相互转化
- 希格斯工厂运行时电子和正电子束流辐射功率分别为30MW以便降低电网使用功率

CEPC 加速器设计：从预概念设计报告到概念设计报告

CEPC 加速器感念设计报告将于2018年七月印刷发布

- Executive Summary
  1. Introduction
  2. Machine Layout and Performance
  3. Operation Scenarios
  4. CEPC Collider
  5. CEPC Booster
  6. CEPC Linac
  7. Systems Common to the CEPC Linac, Booster and Collider
  8. Super Proton Proton Collider
  9. Conventional Facilities
  10. Environment, Health and Safety
  11. R&D Program
  12. Project Plan, Cost and Schedule
- Appendix 1: CEPC Parameter List
- Appendix 2: CEPC Technical Component List
- Appendix 3: CEPC Electric Power Requirement
- Appendix 4: Advanced Partial Double Ring
- Appendix 5: CEPC Injector Based on Plasma Wakefield Accelerator
- Appendix 6: Operation as a High Intensity γ-ray Source
- Appendix 7: Operation for e-p, e-A and Heavy Ion Collision
- Appendix 8: Opportunities for Polarization in the CEPC
- Appendix 9: International Review Report

CDR内容(英文)



2015年3月
预概念设计报告

2017年4月
进展报告

2017年11月CEPC
CDR初稿，国际预评估

CEPC加速器概念设计报告CDR
2018年6月28-30日国际评估

CEPC-SPPC CDR国际预评估
(2017年11月 4-5日，高能所)

CEPC-SPPC CDR 国际预评估委员会成员

Name (alphabetical order)
Anton Bogomyakov BINP Russia
Brian Foster Oxford U. U.K.
Eugene Levichev BINP Russia
Kexin Liu (刘克新) Peking U. China
Ernie Malamud Fermilab USA
Kazuhito Ohmi KEK Japan
Katsunobu Oide CERN / KEK Switzerland
Carlo Pagani U. of
John Seeman SLAC USA
Sergey Sinyatkin BINP Russia
Mike Sullivan SLAC USA
Chuanxiang Tang (唐传祥) Tsinghua U. China
Lin Wang (王林) USTC China
Xiangqi Wang (王相綦) USTC China
Akira Yamamoto KEK Japan

Sunday, November 5		
08:30 – 09:00 09:00 – 09:30 09:30 – 10:00 10:00 – 10:30	SRF RF power source Cryogenic system Magnet	Jiyuan Zhai Zusheng Zhou Shaopeng Li Fusan Chen
10:30 – 11:00	Coffee (30')	
11:00 – 11:30	SC magnet for CEPC IR	... Zhu

Informal Mini-Review of CEPC-SPPC CDR

November 4 – 5, 2017, IHEP, Main Building, Room A415

Agenda (draft v2. 09/14/2017)

日程

Saturday, November 4		
08:30 – 08:35 08:35 – 09:10 09:10 – 09:40 09:40 – 10:10 10:10 – 10:40	Welcome Overview of beam dynamics Parameters Optics Dynamic aperture	Yifang Wang Chenghui Yu Dou Wang Yiwei Wang Yuan Zhang
10:40 – 11:10	Coffee (30')	
11:10 – 11:40 11:40 – 12:10 12:10 – 12:40	Beam-beam Instabilities Machine-detector interface	Yuan Zhang Na Wang Sha Bai
12:40 – 14:00	Lunch	
14:00 – 14:30 14:30 – 15:00 15:00 – 15:30	Injection and extraction Booster Linac and sources	Xiaohao Cui Tianjian Bian Cai Meng
15:30 – 16:00	Coffee (30')	
16:00 – 16:30 16:30 – 17:00 17:00 – 17:30 17:30 – 18:30	Synchrotron radiation Overview of SPPC SC magnet for SPPC Discussion	Yadong Ding Jingyu Tang Qingjin Xu All
19:00	Dinner	

CEPC CDR国际评估
(2018年06月 28-30日，高能所)

日程

International Review of CEPC CDR

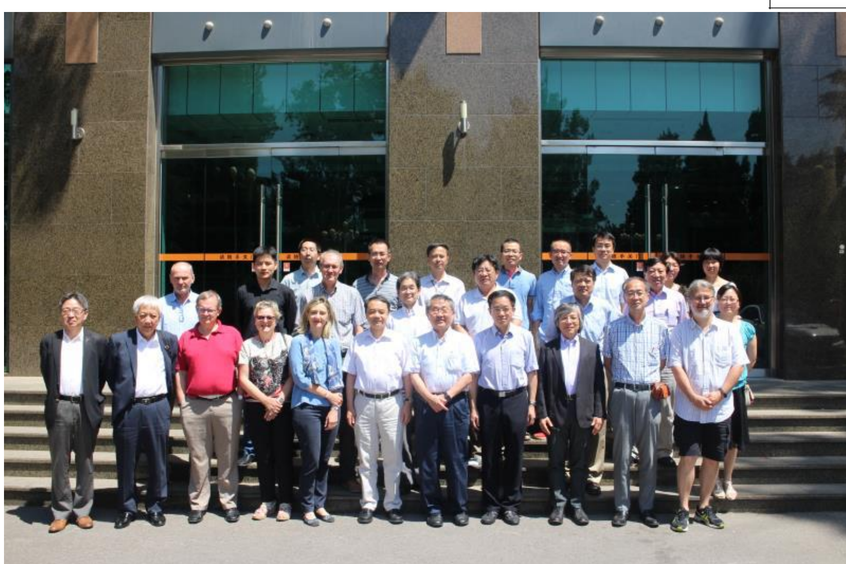
June 28 – 30, 2018, IHEP, Main Building, Room A415

Agenda

Thursday, June 28		
8:30-9:00	Chair: K. Oide Committee Executive Session	
9:00-9:05 9:05-9:20 9:20-9:35 9:35-10:05 10:05-10:35	Chair: Qing Qin Welcome Overview of CEPC Overview of beam dynamics CEPC collider lattice design CEPC beam-beam and DA	Yifang Wang Jie Gao Chenghui Yu Yiwei Wang Yuan Zhang
11:05-11:35 11:35-12:05	Coffee break(30') Chair: K. Oide Instabilities Machine-detector interface	Na Wang Sha Bai
12:05 – 14:00	Lunch break	
14:00-14:30 14:30-15:00 15:30-16:00	Chair: K. Oide Booster Injection and extraction Linac injector	Dou Wang Xiaohao Cui Cai Meng
16:30-18:30	Coffee break(30') Committee Executive Session	
19:00	Dinner of Committee	

8:30-9:00 9:00-9:30 9:30-10:00 10:00-10:20 10:20-10:40	Chair: K. Oide SRF system RF power source Cryogenic system CEPC collider ring Magnet CEPC booster ring magnet
11:10-11:30 11:30-12:00 12:00-12:30	Coffee break(30') SC magnet for CEPC IR Power supplies Vacuum
12:30 – 14:00	
14:00-14:30 14:30-15:00 15:00-15:30 15:30-16:00	Chair: K. Oide Instrumentation Control Synchrotron radiation Radiation shielding
16:30-18:30	Coffee break(30') Committee Executive Sessic
	Dinr

Saturday, June 30		
8:30-9:00 9:00-9:30 9:30-10:00 10:00-10:30	Chair: K. Oide Survey and alignment Mechanics Conventional facilities Site investigation	Xiaolong Wang Haijing Wang Guoping Lin Yu Xiao
11:00-12:00	Coffee break (30') Discussion with CEPC team	
12:00 – 14:00	Lunch break	
14:00-16:00	Committee Executive Session	
16:30-17:30	Coffee break (30') Close out	
	Banquet	



CEPC-SPPC CDR 国际预评估委员会成员：

Brian Foster	Oxford U./DESY
Eugene Levichev	BINP
Katsunobu Oide (主席)	**CERN/KEK （Fcc ee)**
Kazuro Furukawa	KEK
Manuela Boscolo	INFN
Marica Biagini	INFN
Masakazu Yoshioka	KEK/Tohoko University
Norihito Ohuchi	KEK
Paolo Pierini	ESS
Steinar Stapnes	CERN
Yoshihiro Funakoshi	KEK
Zhengtang Zhao (absent)	SINAP

CEPC CDR 国际评估报告
(2018年7月8日最终版)

International Review of the CEPC Conceptual Design Report
- Accelerator Design –

June 28 – 30, 2018
IHEP, Beijing

This is the review report of the accelerator part of the CEPC CDR. The review is done for the presentations based on the draft version of the CDR. Extensive discussions have been held between the review committee members and the CEPC team during the review meeting.

General remarks

The Circular Electron-Positron Collider (CEPC) is a very ambitious and important project aimed at various physics at ZH (E_{beam} = 120 GeV), W± (80 GeV), and Z (46 GeV) production which would produce the highest luminosity ever achieved by a collider in the world. The Superconducting Proton-Proton Collider (SppC) is planned as the second stage of the project using the same collider tunnel to explore the energy frontier of elementary particle physics.

The Review Committee unanimously congratulates the CEPC team on the completion of the CDR, with remarkable successes in various aspects of the design. The progress since the pre-CDR has been a major step in the project, especially the full double-ring scheme, lattice design, and various beam dynamics with beam-beam effects and collective phenomena. The design work on each system has verified the basic feasibility of the project, including the superconducting RF, normal and superconducting magnets, cryogenic system, vacuum system, injectors with a booster synchrotron and a linac, instrumentation, control, safety, civil engineering, etc.

The Committee believes that the CDR has already reached a sufficient level of maturity to allow approval to proceed to a Technical Design Report. On the other hand, we think that this machine has more potential for further extensions, including:

(1) Experiments for ttbar production (E_{beam} ≈ 180 GeV);
(2) Even higher luminosity (~x10) at Z and W±;
(3) Higher beam current, up to 50 MW/beam synchrotron radiation loss;
(4) More interaction points;
(5) Polarized beams.

These extensions will be achievable if the machine preserves the possibility to implement these possibilities by relatively small investments, such as longer quadrupole magnets, a less compressed layout around the interaction point (IP) with shallower bends, and sufficient length for the RF section. Actually, such improvements may even reduce the operation costs. The committee encourages the CEPC team to explore and preserve these possibilities, since once CEPC is built, no second machine with the same scale is likely to be built in the world.

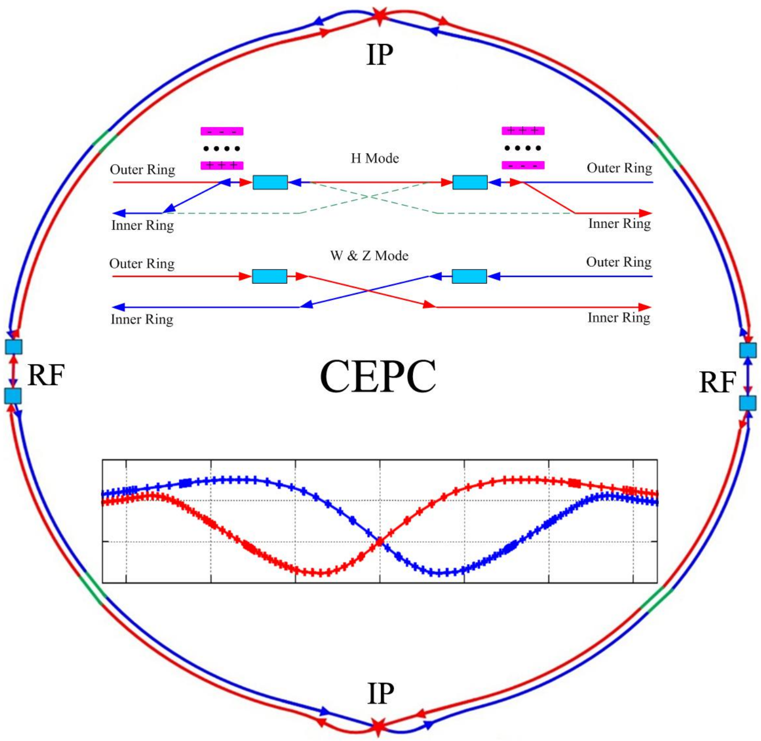
介绍：2018年6月28日至30日，高能环形正负电子对撞机（CEPC）加速器概念设计报告国际评审会在中科院高能物理研究所举行。会议由高能所主办，来自日本、俄罗斯、瑞士、意大利、英国、瑞典等6个国家的11名专家组成评审委员会，日本高能加速器机构（KEK）加速器部前主任Katsunobu Oide教授担任评审委员会主席，委员均为加速器物理与技术领域的世界顶尖专家和著名学者。在为期三天的会议期间，各位委员进行了紧张繁重的工作，撰写了30多页的初步评审意见。

报告结论：

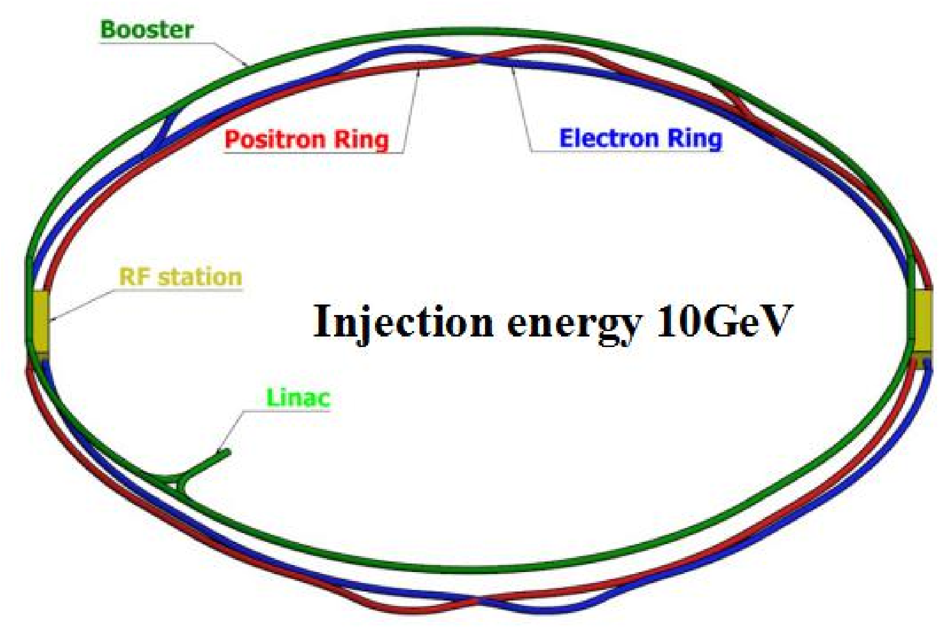
全体评审委员一致对CEPC设计工作中取得的令人瞩目的进展进行了肯定，并对概念设计报告的完成表示祝贺...

认为设计工作已经证明项目的基本可行性并可以被批准进入技术设计报告（Technical Design Report, TDR）阶段...

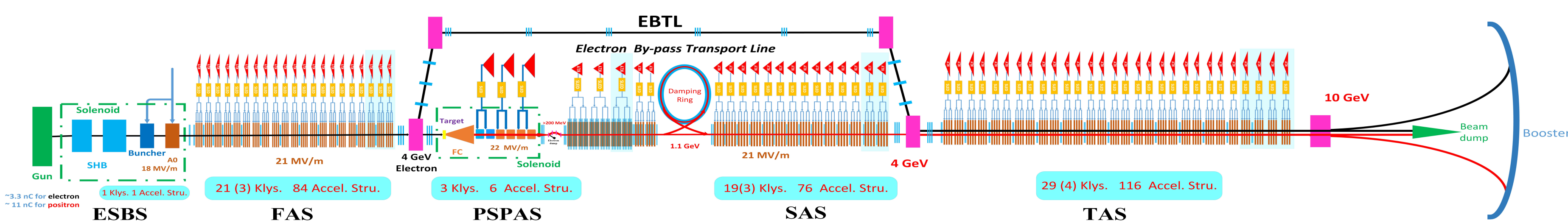
CEPC 概念设计报告布局



CEPC 对撞环（周长100公里）

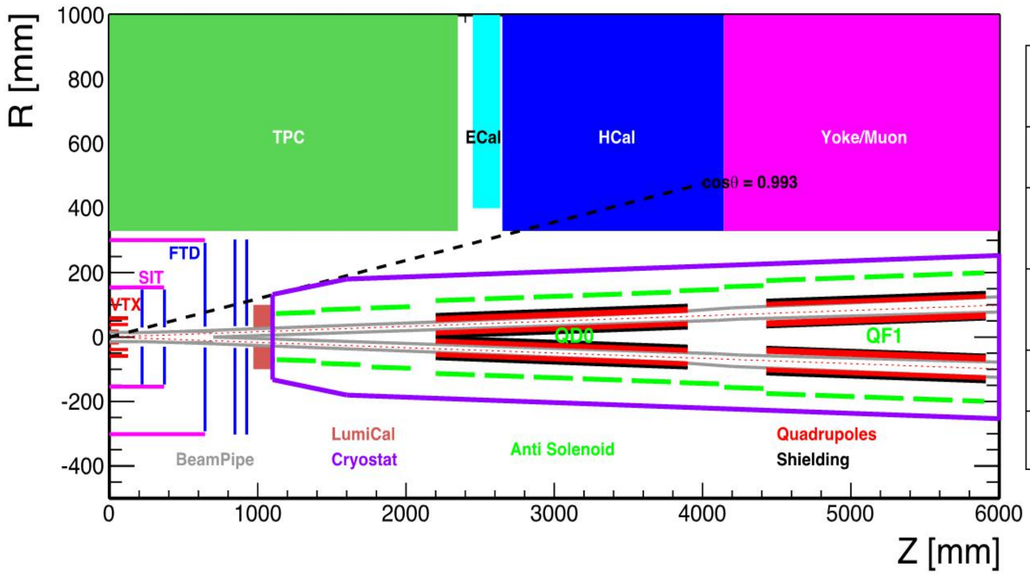


CEPC 增强器（周长100公里）



CEPC 直线加速器注入器（1.2公里，能量：10GeV）

CEPC 探测器-加速器对撞区布局及参数



MDI parameters	Values
*L** (m)	2.2
Crossing angle (mrad)	33
Strength of QD0 (T/m)	150
Strength of detector solenoid (T)	3.0
Strength of anti-solenoid (T)	7.0

- CEPC探测器-加速器对撞区为对撞点两侧±7米的区域
- CEPC探测器超导磁铁强度为3Tesla,长度为7.6米
- 探测器加速器部件没有防护部分在张角为 cosθ=0.993的锥形空间内
- 正负电子束对撞水平对撞角为33mrad，超导四极铁的聚焦长度L*= 2.2米
- 亮度探测器位于对撞点纵向长度 0.95~1.11米范围内，内半径和外半径分别为28.5毫米和100毫米

CEPC 概念设计报告参数表

	Higgs	W	Z (3T)	Z (2T)
Number of IPs（对撞点数）	2			
束流能量（GeV)	120	80	45.5	
周长（km)	100			
Synchrotron radiation loss/turn（GeV)	1.73	0.34	0.036	
Crossing angle at IP（mrad)（对撞角）	16.5×2			
Piwinski angle	2.58	7.0	23.8	
Number of particles/bunch N_e (10^{10})	15.0	12.0	8.0	
Bunch number（bunch spacing)	242（0.68μs)	1524（0.21μs)	12000（25ns+10%gap)	
Beam current（mA）（束流流强）	17.4	87.9	461.0	
Synchrotron radiation power /beam（MW)	30	30	16.5	
Bending radius（km）（偏转半径）	10.7			
Momentum compact（10^{-5})	1.11			
β function at IP β_x^* / β_y^* (m)	0.36/0.0015	0.36/0.0015	0.2/0.0015	0.2/0.001
Emittance e_x/e_y (nm)（发射度）	1.21/0.0031	0.54/0.0016	0.18/0.004	0.18/0.0016
Beam size at IP s_x /s_y (μm)（对撞点横向尺寸）	20.9/0.068	13.9/0.049	6.0/0.078	6.0/0.04
Beam-beam parameters ξ_x/ξ_y	0.031/0.109	0.013/0.106	0.0041/0.056	0.0041/0.072
RF voltage V_{RF} (GV)（高频电压）	2.17	0.47	0.10	
RF frequency f_{RF} (MHz)（harmonic）（频率）	650（216816)			
Natural bunch length σ_z（mm)（自然束长）	2.72	2.98	2.42	
Bunch length σ_z (mm)（拉伸束长）	3.26	5.9	8.5	
HOM power/cavity（2 cell）（kw）（高次模功率）	0.54	0.75	1.94	
Natural energy spread（%）（自然能散）	0.1	0.066	0.038	
Energy acceptance requirement（%）	1.35	0.4	0.23	
Energy acceptance by RF（%）	2.06	1.47	1.7	
Photon number due to beamstrahlung	0.1	0.05	0.023	
Lifetime _simulation (min)	100			
Lifetime（hour)	0.67	1.4	4.0	2.1
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	

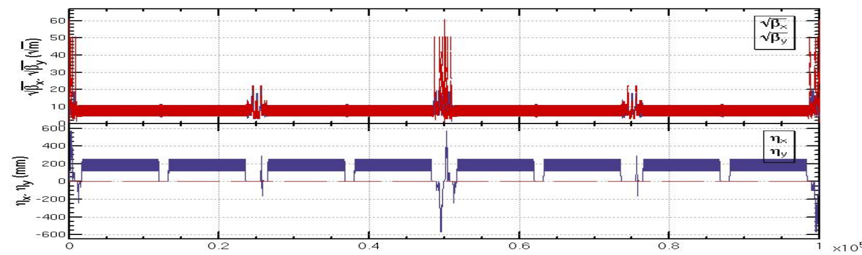
CEPC 对撞环超导高频加速器参数

对撞模式 （120GeV, 90GeV, 45GeV）	H	W	Z
SR power / beam [MW] （束流同步辐射功率）	30	30	16.5
RF voltage [GV] （高频电压）	2.17	0.47	0.1
Beam current / beam [mA]	17.4	87.9	461
Bunch charge [nC]	24	24	12.8
Bunch number / beam	242	1220	12000
Bunch length [mm]	3.26	6.53	8.5
Cavity number （650 MHz 2-cell）	240	2 x 108	2 x 60
Cavity gradient [MV/m]	19.7	9.5	3.6
Input power / cavity [kW]	250	278	276
Klystron power [kW] （2 cavities / klystron）	800	800	800
HOM power / cavity [kW]	0.54	0.86	1.94
Optimal Q_L	1.5E6	3.2E5	4.7E4
Optimal detuning [kHz]	0.17	1.0	18.3
Total cavity wall loss @ 2 K [kW]	6.6	1.9	0.2

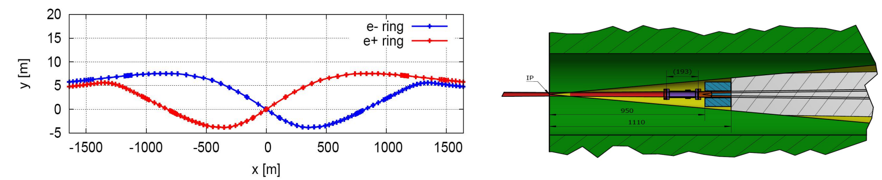
CEPC加速器解决的主要设计及束流动力学问题

- ✓ 对撞环 lattice 设计
- ✓ 超导高频加速器系统设计
- ✓ 对撞区设计，探测器背景噪音控制
- ✓ 束束相互作用研究
- ✓ 动力学孔径优化
- ✓ 轴向注入方案研究
- ✓ 阻抗和不稳定性研究
- ✓ 增强器设计
- ✓ 直线注入器设计
- ✓ 增强器注入引出研究

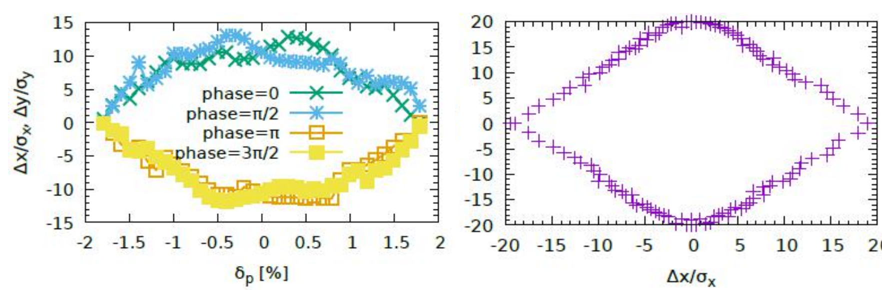
...



对撞环及增强器Lattice设计



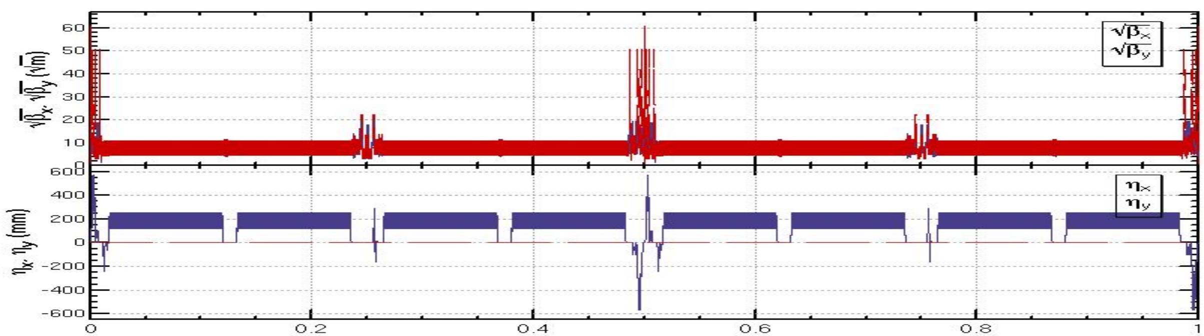
加速器-探测器区域（MDI）

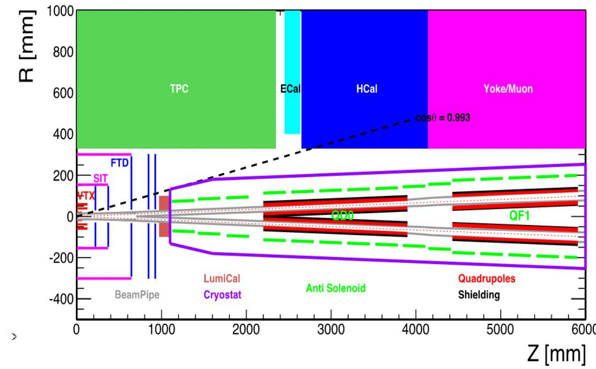


动力学孔径优化（DA）

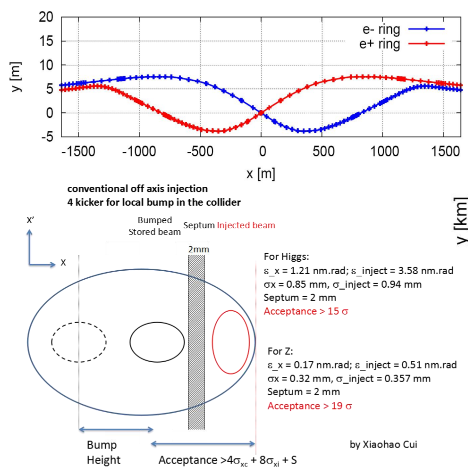
CEPC对撞环聚焦系统（Lattice ）及加速器-探测器区域（MDI）设计

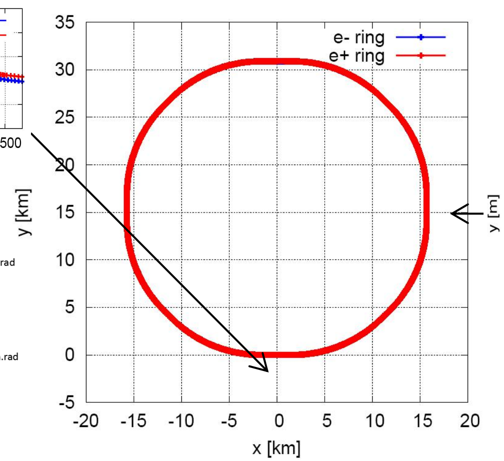
满足设计参数表、几何布局、对撞区、探测器背景噪音、硬件技术要求等的CEPCLattice设计

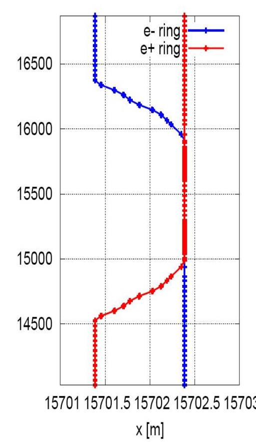




CEPC 探测器-加速器区（MDI）







MDI parameters	Values
*L** (m)	2.2
Crossing angle (mrad)	33
Strength of QD0 (T/m)	150
Strength of detector solenoid (T)	3.0
Strength of anti-solenoid (T)	7.0

对撞区及注入引出　　对撞环　　高频区　　探测器-加速器区参数表

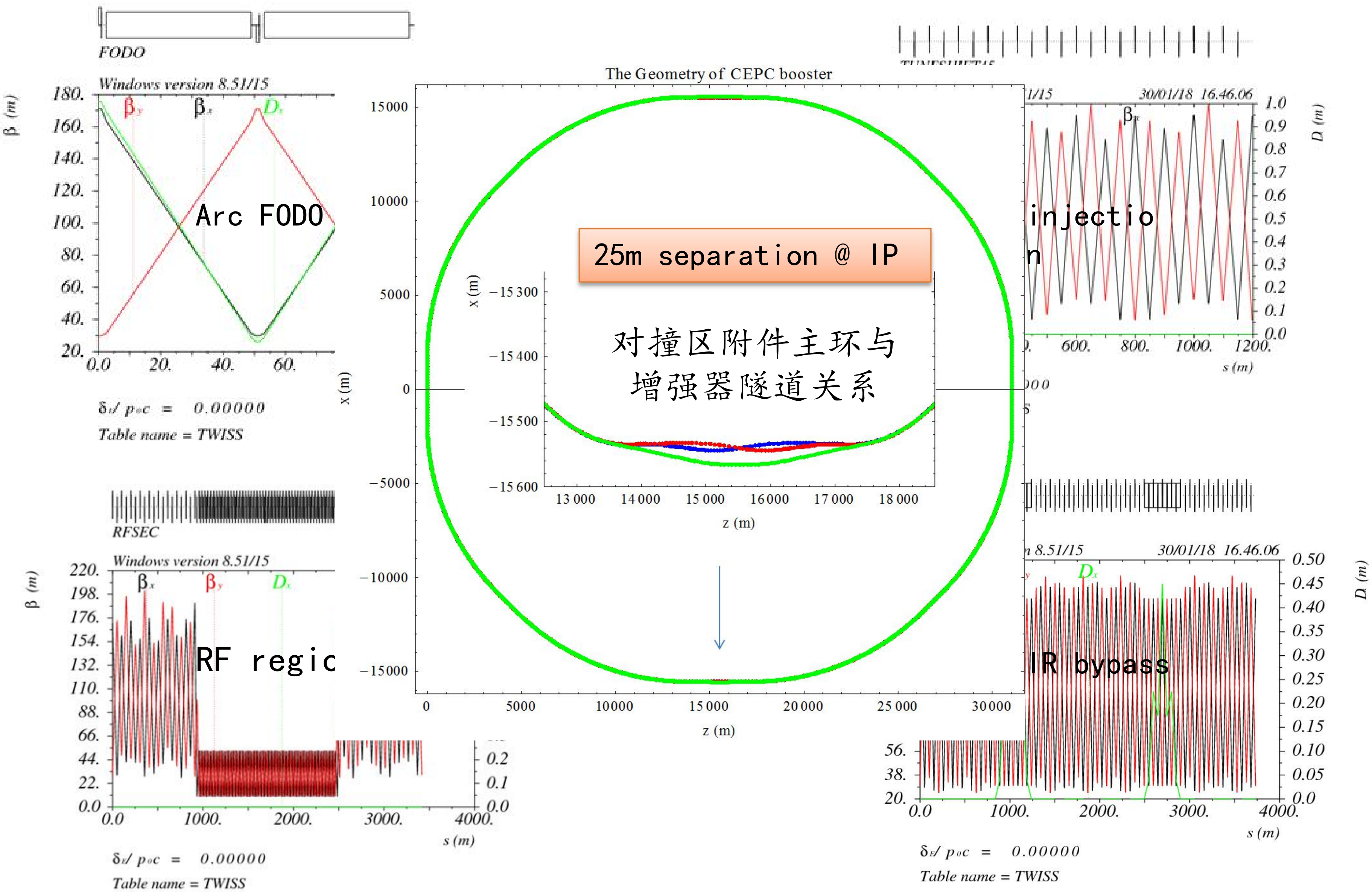
CEPC 增强器参数 @注入能量 (10GeV)

运行模式		*H*	*W*	*Z*
Beam energy （注入能量）	GeV	10		
Bunch number （束团数）		242	1524	6000
Threshold of single bunch current	μA	25.7		
Threshold of beam current (limited by coupled bunch instability)	mA	127.5		
Bunch charge （束团电量）	nC	0.78	0.63	0.45
Single bunch current	μA	2.3	1.8	1.3
Beam current （束流流强）	mA	0.57	2.86	7.51
Energy spread	%	0.0078		
Synchrotron radiation loss/turn	keV	73.5		
Momentum compaction factor	10^{-5}	2.44		
Emittance（发射度）	nm	0.025		
Natural chromaticity	H/V	-336/-333		
RF voltage （高频电压）	MV	62.7		
Betatron tune $\nu_x/\nu_y/\nu_s$		263.2/261.2/0.1		
RF energy acceptance	%	1.9		
Damping time （阻尼时间）	s	90.7		
Bunch length of linac beam	mm	1.0		
Energy spread of linac beam	%	0.16		
Emittance of linac beam	nm	40~120		

CEPC 增强器参数 @ 引出能量

运行模式		*H*		*W*	*Z*
		Off axis injection	On axis injection	Off axis injection	Off axis injection
Beam energy （束流能量）	GeV	120		80	45.5
Bunch number（束团数）		242	235+7	1524	6000
Maximum bunch charge	nC	0.72	24.0	0.58	0.41
Maximum single bunch current	μA	2.1	70	1.7	1.2
Threshold of single bunch current	μA	300			
Threshold of beam current （limited by RF power）	mA	1.0		4.0	10.0
Beam current （束流流强0	mA	0.52	1.0	2.63	6.91
Injection duration for top-up （Both beams）	s	25.8	35.4	45.8	275.2
Injection interval for top-up	s	73.1		153.0	438.0
Current decay during injection interval		3%			
Energy spread	%	0.094		0.062	0.036
Synchrotron radiation loss/turn	GeV	1.52		0.3	0.032
Momentum compaction factor	10^{-5}	2.44			
Emittance（发射度）	nm	3.57		1.59	0.51
Natural chromaticity	H/V	-336/-333			
Betatron tune ν_x/ν_y		263.2/261.2			
RF voltage （高频电压）	GV	1.97		0.585	0.287
Longitudinal tune		0.13		0.10	0.10
RF energy acceptance	%	1.0		1.2	1.8
Damping time（阻尼时间）	ms	52		177	963
Natural bunch length	mm	2.8		2.4	1.3
Injection duration from empty ring	h	0.17		0.25	2.2

CEPC 增强器Lattice & 布局

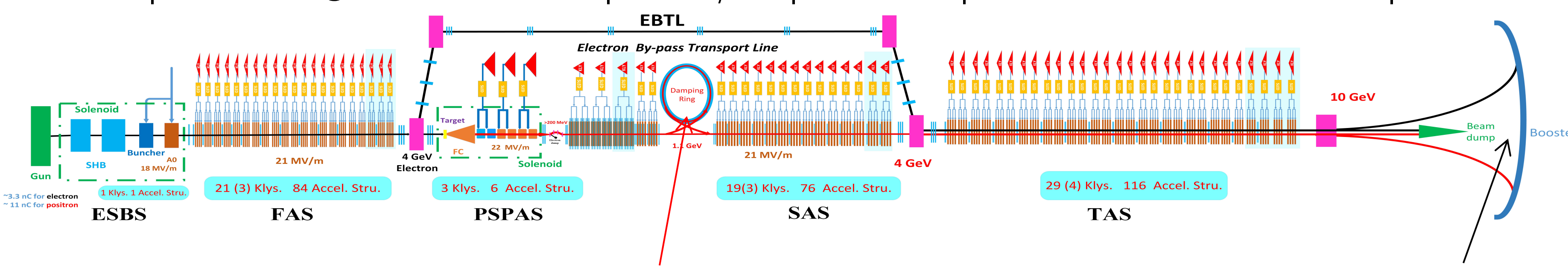


CEPC 增强器超导高频加速器参数

10 GeV injection	H	W	Z
Extraction beam energy [GeV] （引出能量）	120	80	45.5
Bunch number（束团数）	242	1524	6000
Bunch charge [nC] （束团电荷）	0.72	0.576	0.384
Beam current [mA]（束流流强）	0.52	**2.63**	**6.91**
Extraction RF voltage [GV] （高频电压）	1.97	0.585	0.287
Extraction bunch length [mm]	2.7	2.4	1.3
Cavity number in use（1.3 GHz TESLA 9-cell） （频率及腔数）	96	64	32
Gradient [MV/m]（加速腔压）	19.8	8.8	8.6
Q_L	1E7	6.5E6	1E7
Cavity bandwidth [Hz]	130	200	130
Beam peak power / cavity [kW]	8.3	12.3	6.9
Input peak power per cavity [kW] (with detuning)	18.2	12.4	7.1
Input average power per cavity [kW] (with detuning)	0.7	0.3	0.5
SSA peak power [kW] (one cavity per SSA)	25	**25**	**25**
HOM average power per cavity [W]	0.2	0.7	**4.1**
Q_0 @ 2 K at operating gradient (long term)	1E10	1E10	1E10
Total average cavity wall loss @ 2 K eq. [kW]	0.2	0.01	0.02

CEPC直线加速器注入器参数

参数	符号	单位	设计达到值
e^- /e^+ beam energy（能量）	E_{e-}/E_{e+}	GeV	10
Repetition rate（重复频率）	f_{rep}	Hz	100
e^- /e^+ bunch population	N_{e-}/N_{e+}		> 9.4×10^9 / >9.4×10^9
		nC	> 1.5
Energy spread（e^- /e^+）	σ_e		< 2×10^{-3} / < 2×10^{-3}
Emittance（e^- /e^+）（发射度）	ε_r	nm· rad	< 120
Bunch length（e^- /e^+）	σ_l	mm	1 / 1



1.1GeV正电子阻尼环（Damping Ring）

注入到CEPC增强器

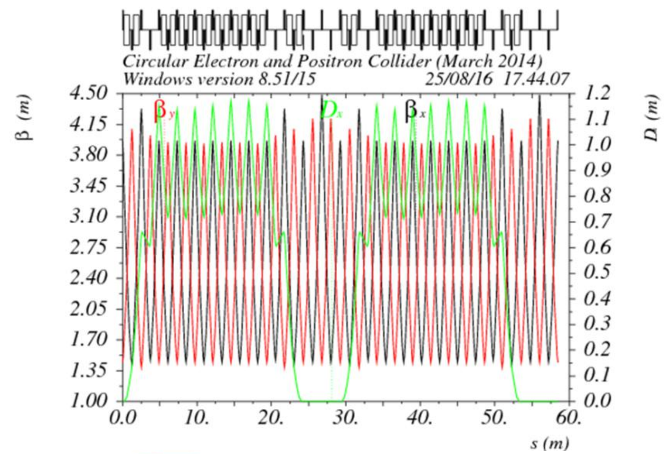
CEPC 直线加速器正电子阻尼环

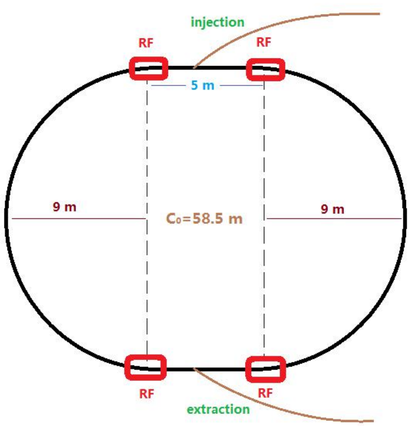
阻尼环参数：能量1.1GeV

DR V1.0	Unit	Value
Energy	GeV	1.1
Circumference	M	58.5
Repetition frequency	Hz	100
Bending radius	M	3.6
Dipole strength B_0	T	1.01
U_0	keV	35.8
Damping time x/y/z	Ms	12/12/6
δ_0	%	0.049
ε_0	mm.mrad	302
Nature σ_z	mm	7 (23ps)
Extract σ_z	mm	7 (23ps)
ε_{inj}	mm.mrad	2500
$\varepsilon_{ext\ x/y}$	mm.mrad	716/471
δ_{inj} /δ_{ext}	%	0.6/0.07
Energy acceptance by RF	%	1.0
f_{RF}	MHz	650
V_{RF}	MV	1.8

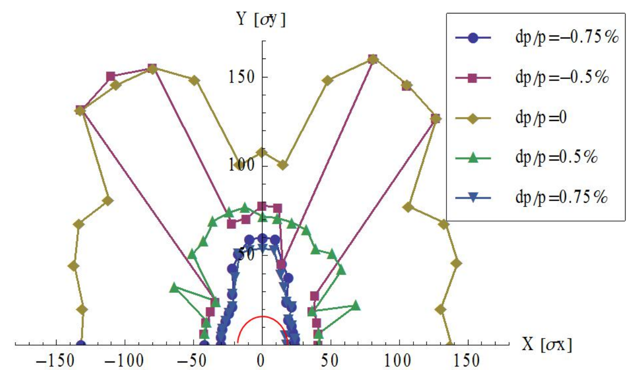
高频频率650MHz,高频电压：1.8MV

全环Lattice





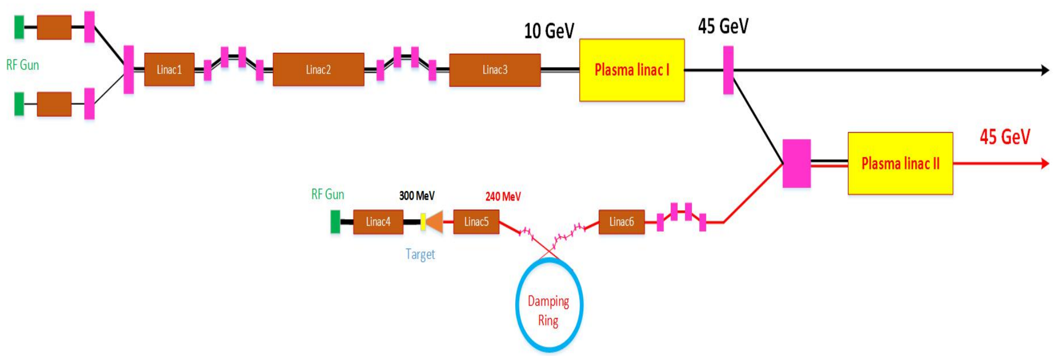
阻尼环布局图

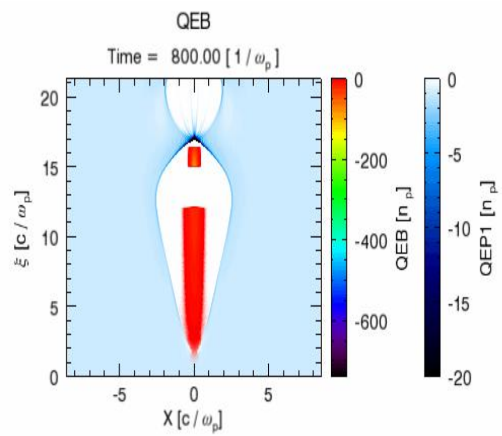


动力学孔径

注入器备选方案：基于等离子体加速的CEPC直线注入器（注入能量45GeV）

等离子体加速有高效率，单级高增能比的特点（能量放大比为3-4）





Plasma density $n_0(cm^{-3})$	5.15×10^{16}
Driver charge $Q_d(nC)$	6.47
Driver energy $E_d(GeV)$	10
Driver length $L_d(\mu m)$	285
Driver RMS size $\sigma_d(\mu m)$	10
Driver normalized emittance $\epsilon_{nd}(mm\ mrad)$	10
Trailor charge $Q_t(nC)$	1.25
Trailor energy $E_t(GeV)$	10
Trailor length $L_t(\mu m)$	35
Trailor RMS size $\sigma_t(\mu m)$	5
Trailor normalized emittance $\epsilon_{nt}(mm\ mrad)$	100

Trailor energy $E_t(GeV)$	45.5
Trailor normalized emittance $\epsilon_{nt}(mm\ mrad)$	98.9
TR	3.55
Energy spread $\delta_E(\%)$	0.7
Efficiency (driver -> trailor)	68.6%

目前等离子体加速器方案正负电子束流参数满足CEPC增强器注入条件要求

CEPC CDR 加速器设计结果

CEPC 对撞环

参数	符号	单位	目标	设计结果
束流能量	E	GeV	120	120
长度	C	km	100	100.006
发射度	$\varepsilon_x/\varepsilon_y$	nm·rad	1.21 / 0.0036	1.208 / -
对撞点Beta 函数	β_x/β_y	m	0.36 / 0.002	0.36 / 0.002
能量接收度	$\Delta P/P$	%	1.35	1.8
动力学孔径	DA_x/DA_y	σ	13 / 12	20 / 20 (w/o errors)

Z 和 W也同时 满足 CDR设计要求

达到CDR 设计目标

CEPC 增强器设计结果

Parameters	Design goals	Design results
Beam current (mA)	<0.8	0.54
Emittance in x (nm rad)	<3.6	3.1
Dynamic aperture for 0.5% off-momentum particles	>3σ	8.5σ
Energy acceptance	>1%	2.5%
Timing	Meet the top-up injection requirements	√

增强器及直线加速器注入器达到CDR设计目标

CEPC 直线加速器注入器设计结果

Parameter	Symbol	Unit	Goal	Status
e^- /e^+ beam energy	E_{e-}/E_{e+}	GeV	10	10/10
Repetition rate	f_{rep}	Hz	100	100
e^- /e^+ bunch population	$Ne-/Ne+$		>6.25×10^9	~1.875×10^{10} ~1.875×10^{10}
	$Ne-/Ne+$	nC	>1.0	1.0/3.0*
Energy spread (e^- /e^+)	σ_E		<2×10^{-3}	1.5×10^{-3} 1.4×10^{-3}
Emittance (e^- /e^+)		mm· mrad	<0.3	0.005/0.12**
e^- beam energy on Target		GeV	4	4
e^- bunch charge on Target		nC	10	10

CEPC 功率：Higgs 和 Z

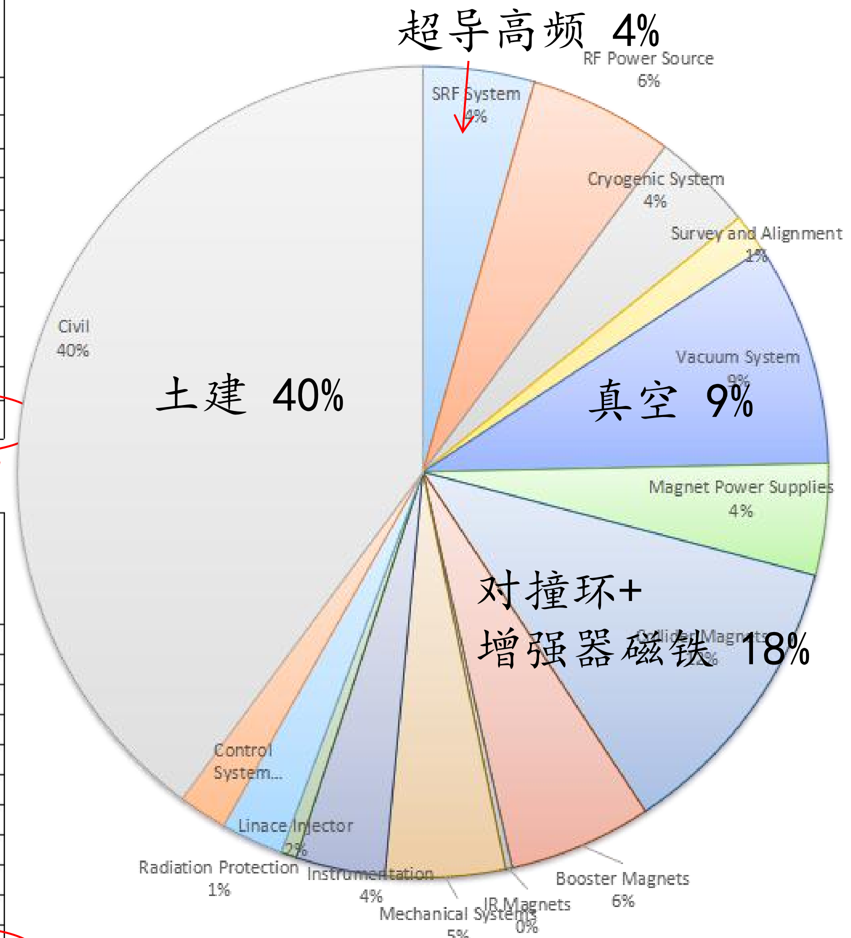
	System for Higgs (30MW)	Location and electrical demand(MW)						Total (MW)
		Ring	Booster	LINAC	BTL	IR	Surface building	
1	RF Power Source	103.8	0.15	5.8				109.75
2	Cryogenic System	11.62	0.68			1.72		14.02
3	Vacuum System	9.784	3.792	0.646				14.222
4	Magnet Power Supplies	47.21	11.62	1.75	1.06	0.26		61.9
5	Instrumentation	0.9	0.6	0.2				1.7
6	Radiation Protection	0.25		0.1				0.35
7	Control System	1	0.6	0.2	0.005	0.005		1.81
8	Experimental devices					4		4
9	Utilities	31.79	3.53	1.38	0.63	1.2		38.53
10	General services	7.2		0.2	0.15	0.2	12	19.75
	Total	213.554	20.972	10.276	1.845	7.385	12	266.032

Higgs 266MW

	System for Z	Location and electrical demand(MW)						Total (MW)
		Ring	Booster	LINAC	BTL	IR	Surface building	
1	RF Power Source	57.1	0.15	5.8				63.05
2	Cryogenic System	2.91	0.31			1.72		4.94
3	Vacuum System	9.784	3.792	0.646				14.222
4	Magnet Power Supplies	9.52	2.14	1.75	0.19	0.05		13.65
5	Instrumentation	0.9	0.6	0.2				1.7
6	Radiation Protection	0.25		0.1				0.35
7	Control System	1	0.6	0.2	0.005	0.005		1.81
8	Experimental devices					4		4
9	Utilities	19.95	2.22	1.38	0.55	1.2		25.3
10	General services	7.2		0.2	0.15	0.2	12	19.75
	Total	108.614	9.812	10.276	0.895	7.175	12	148.772

Z 149MW

CEPC 造价细分 (不含 探测器)



注：需要增加的功率是冷却用制冷机功率~50MW+增量功率（取决于选址年平均气温）

CEPC加速器关键技术预研及产业化

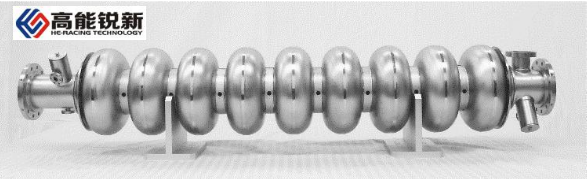
CEPC加速器相关系统构成

超导高频系统	功率源系统	磁铁系统	真空系统
电源系统	束测系统	控制系统	低温系统
超导磁铁系统	低温系统	机械系统	准直系统
辐射防护系统	微波系统	加速器探测器区系统	土建设计

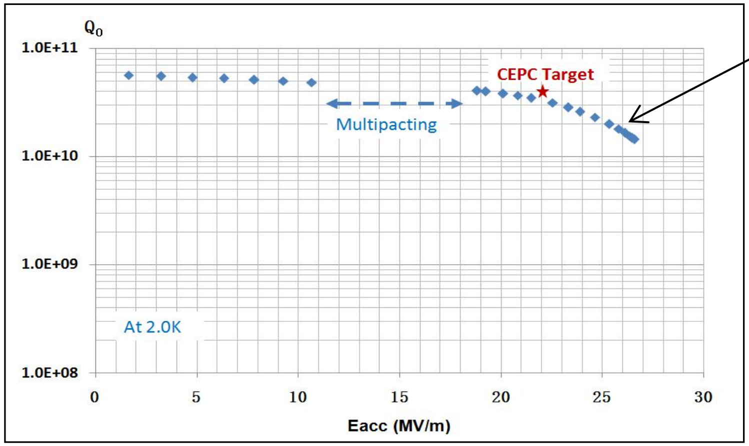
CEPC 技术设计报告(TDR)任务目标：
根据CEPC CDR设计确定技术关键路径、建造造价关键路径及产业化关键路径等，进行硬件设计、样机制造、关键技术研究与突破、产业化，为2022年建造做准备

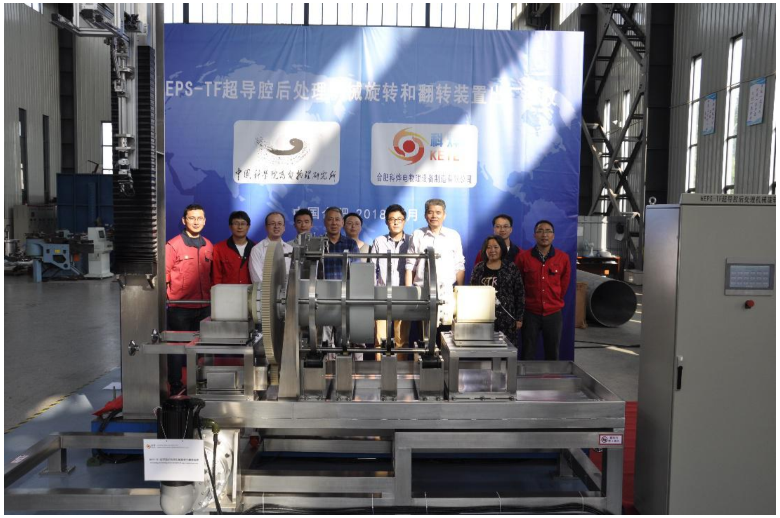
CEPC 650 MHz/1.3GHz 超导腔研制

- 垂直测试结果：Q_0=4.0E10@19.2MV/m，接近CEPC
  CEPC设计目标：Q_0=4.0E10@22.0MV/m.
- 下一步，通过掺氮和电抛光工艺，Q值及梯度还可以进一步提高

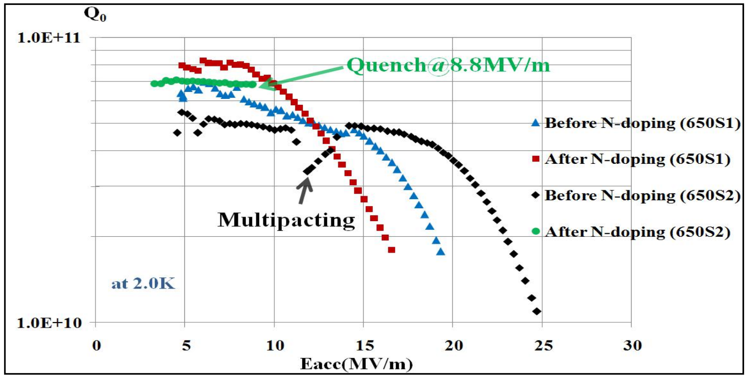


1.3GHz
9cell 超导腔

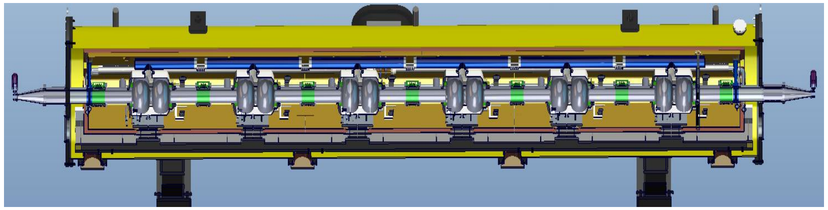




我国第一台超导腔电抛光设备将于2018年秋运行



650MHz 单cell腔掺氮结果



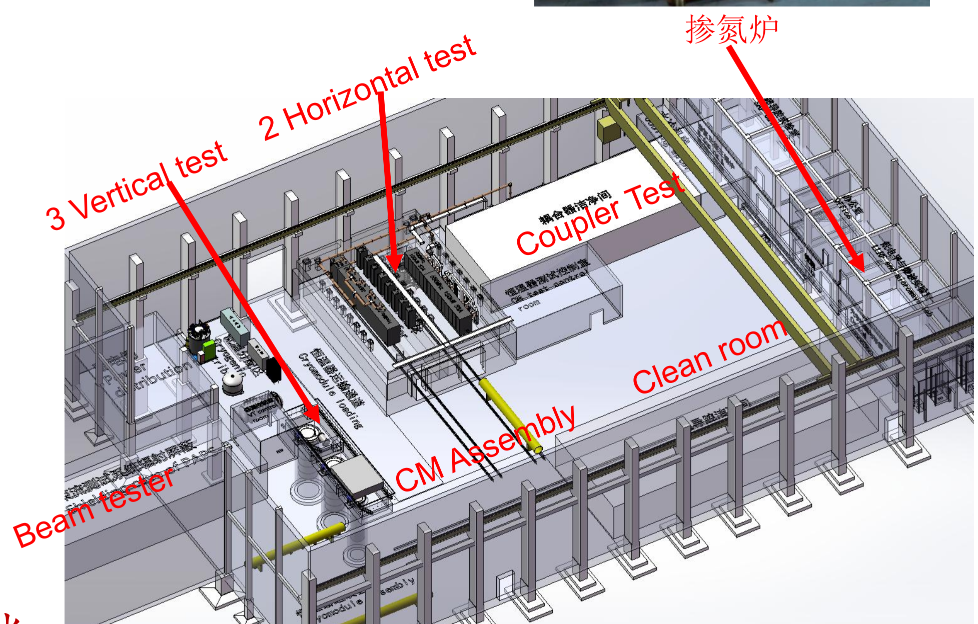
CEPC 650MHz对撞环低温恒温器：
含6只2cell 超导腔及6只高功率耦合器。CEPC 对撞环需要：1）242 2cell 超导腔 2）40 只低温恒温器

耦合器

高能所新超导高频实验室

- **面积：4500 m²， 超导高频实验室，怀柔科技园区，北京**
- **任务：世界一流超导高频研究及生产基地**
- **量产能力：**
  - 每年200 ~ 400 只超导腔及耦合器
  - 每年 20只低温恒温器组装及水平测试

建设周期 ： 2017 - 2020



⇨ 三个垂直测试竖井，两个水平测试区
一个500m2 洁净间

上海X波段自由电子激光项目需要：
- 432 1.3 GHz cavities
- 54 Cryomodules

高能所将提供1/3，对于CEPC是很好的产业化实践机会

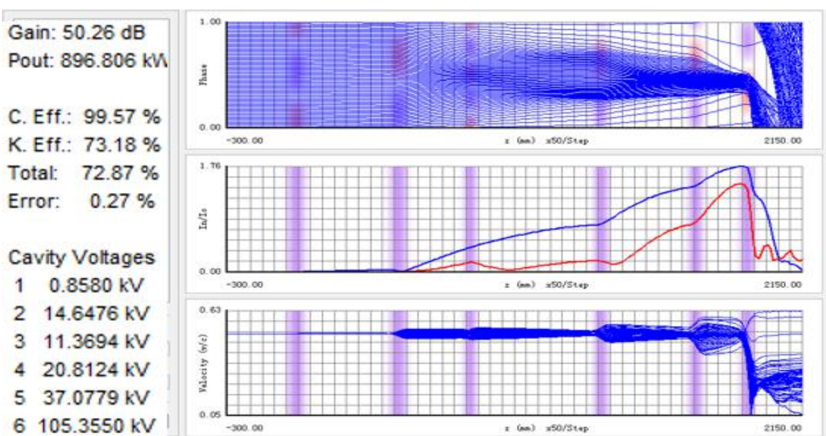
CEPC 650MHz 高效速调管研制

成立“高效速调管合作联盟” （高能所，电子所，昆山国力科技有限公司）

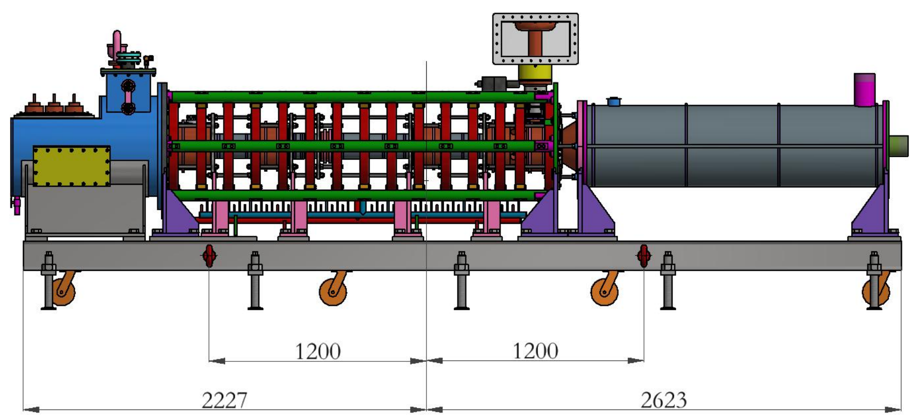
- 2016 – 2018: 设计传统及高效速调管
- 2017 – 2018: 制造传统速调管及测试
- 2019 – 2020 : 制造高效速调管及测试
- 2020 – 2021 : 优化制造高效速调管及测试（达标）

650MH速调管设计参数

参数	传统设计	高效设计
频率 (MHz)	650+/-0.5	650+/-0.5
输出功率 (kW)	800	800
电压(kV)	80	–
电流 (A)	16	–
效率 (%)	~ 65	> 80



⇨ 速调管理论设计计算

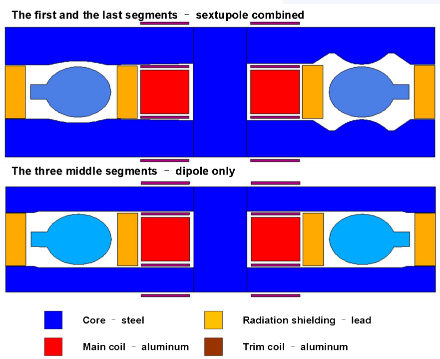


650MH速调管机械结构

CEPC对撞环及增强器常规磁铁

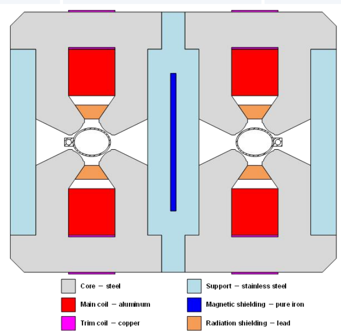
对撞环磁铁需求

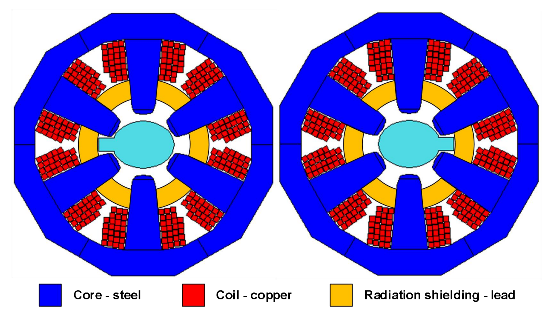
类型	二极铁	四极铁	六极铁	矫正铁	总数
双孔径	2384	2392	–	–	13742
单孔径	80*2+2	480*2+172	932*2	2904*2	
总长度[km]	71.5	5.9	1.0	2.5	80.8
功率 [MW]	7.0	20.2	4.6	2.2	34



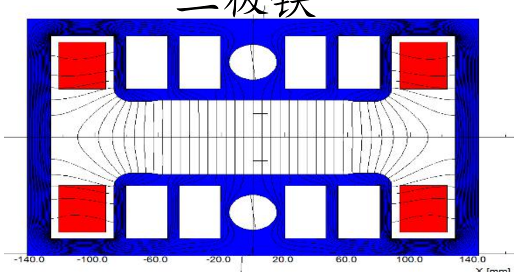
二极铁

四极铁





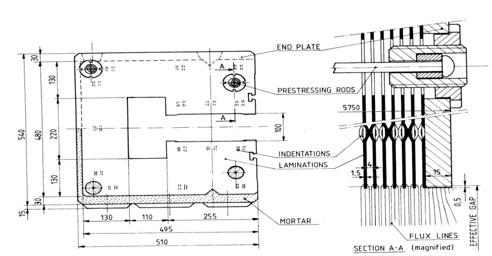
六极铁



增强器二极铁

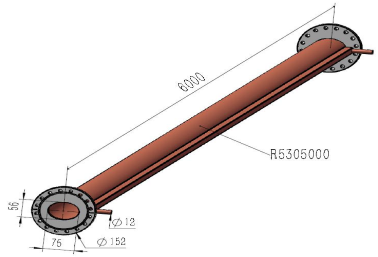
增强器磁铁需求

数量	16320
长度(m)	4.711
最高强度(Gs)	338
最低强度(Gs)	28
Gap height(mm)	63
GFR(mm)	55
Field uniformity	5E-4

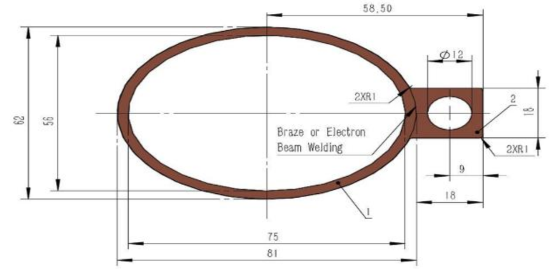


CEPC对撞环真空盒研制

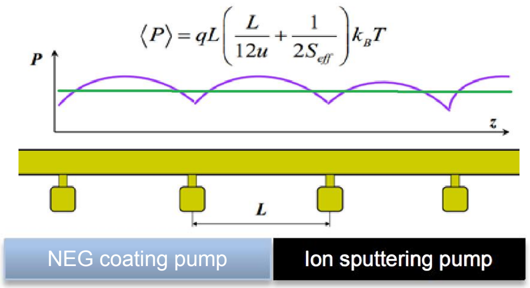
- 真空度要求好于：
  2 x 10-10 Torr
- 漏率小于：
  2 x 10-10 torr. l /s.

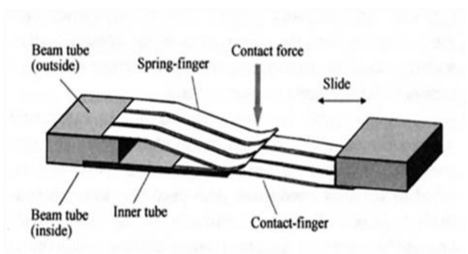


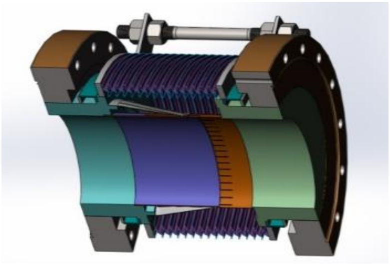
正电子环真空盒

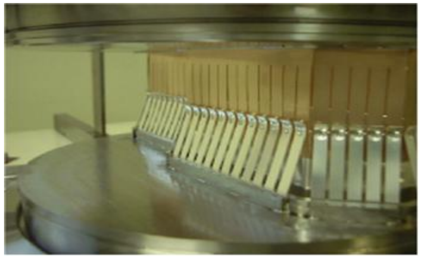


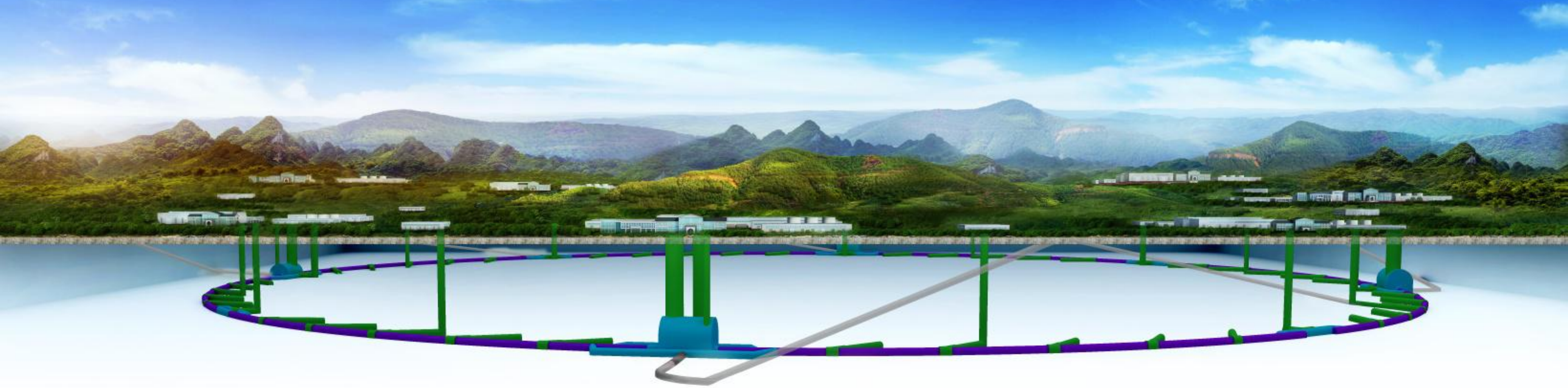
铜真空盒尺寸（Drawing）
椭圆： 75mm×56mm, thickness 3mm, 长6000mm）



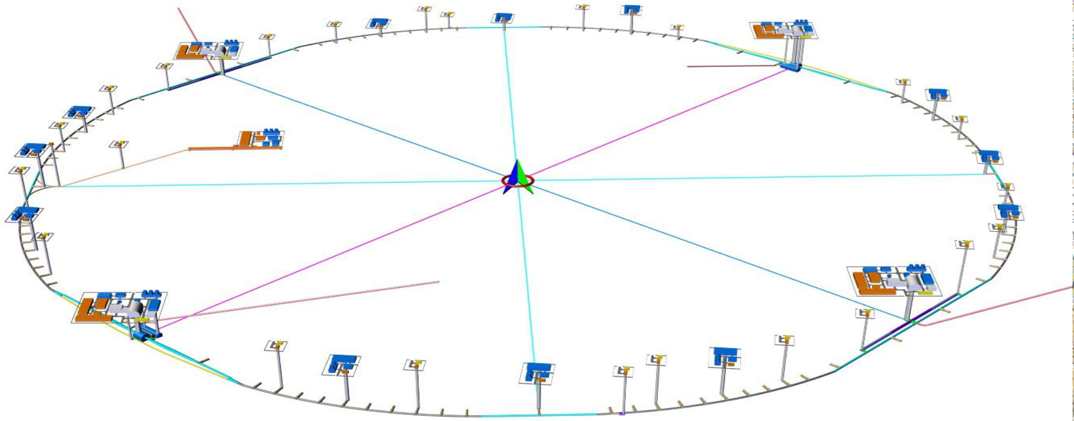


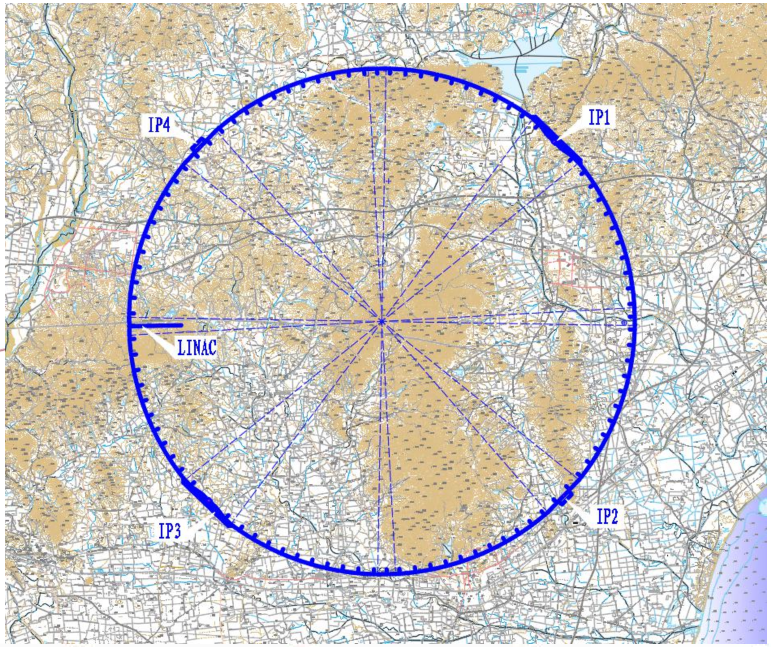


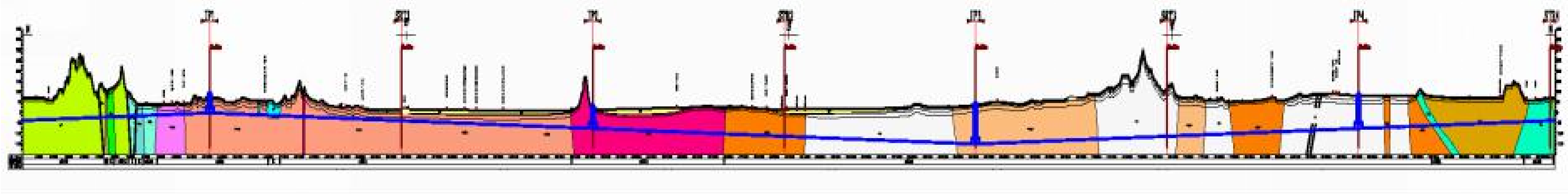




CEPC 土建设计 （秦皇岛抚宁址： 100km,CDR例子）

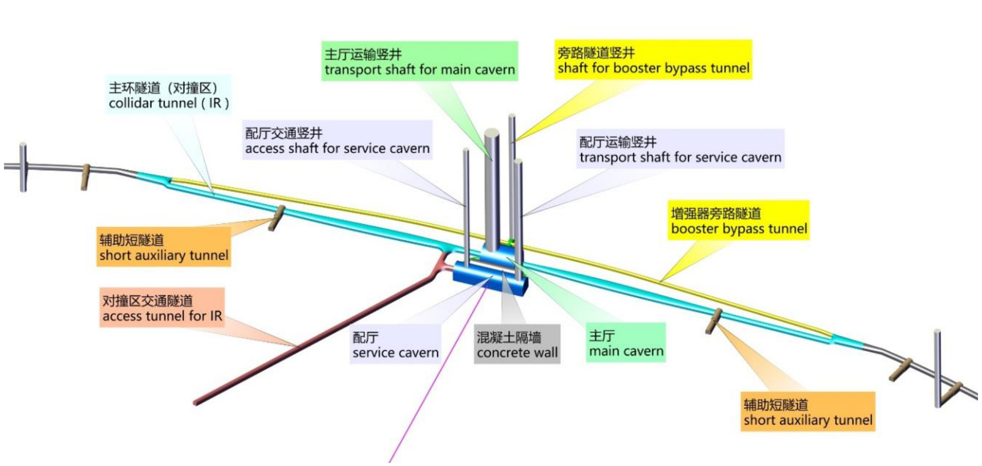




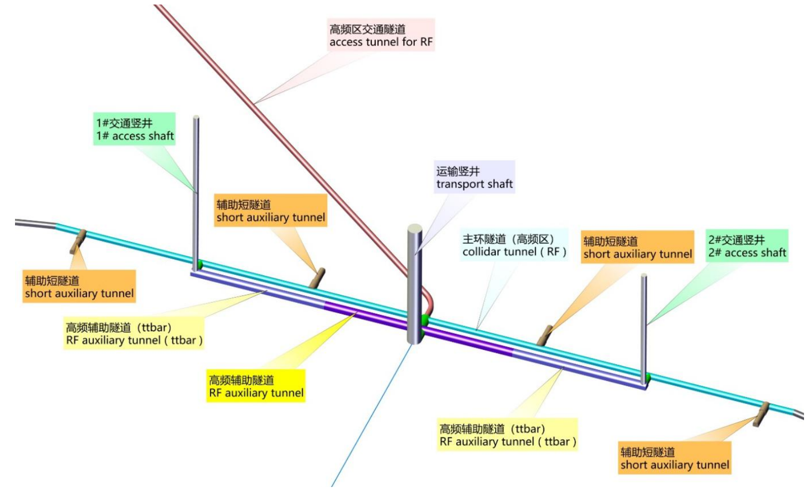


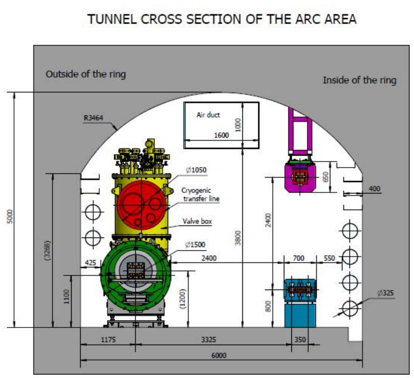
CEPC 隧道土建设计

IP1 / IP3 对撞区

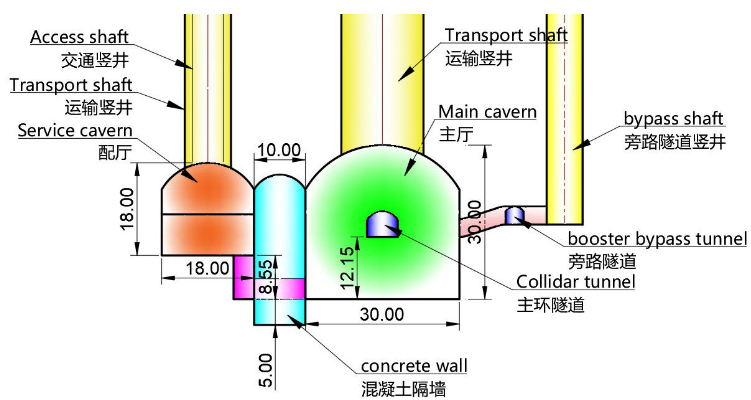


IP2 / IP4--高频加速器区

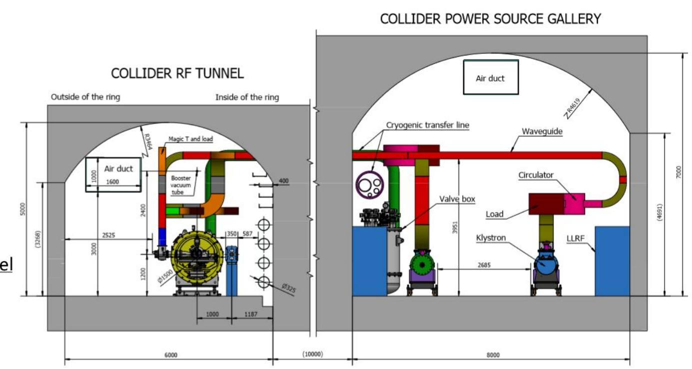




CEPC主隧道

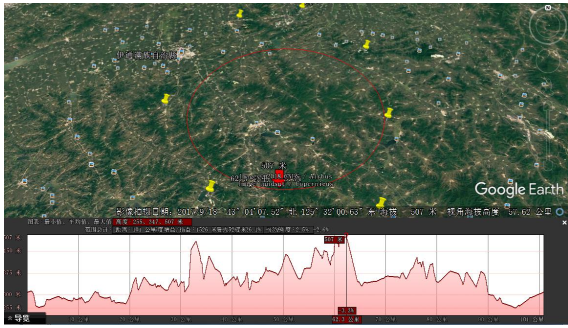


探测器大厅



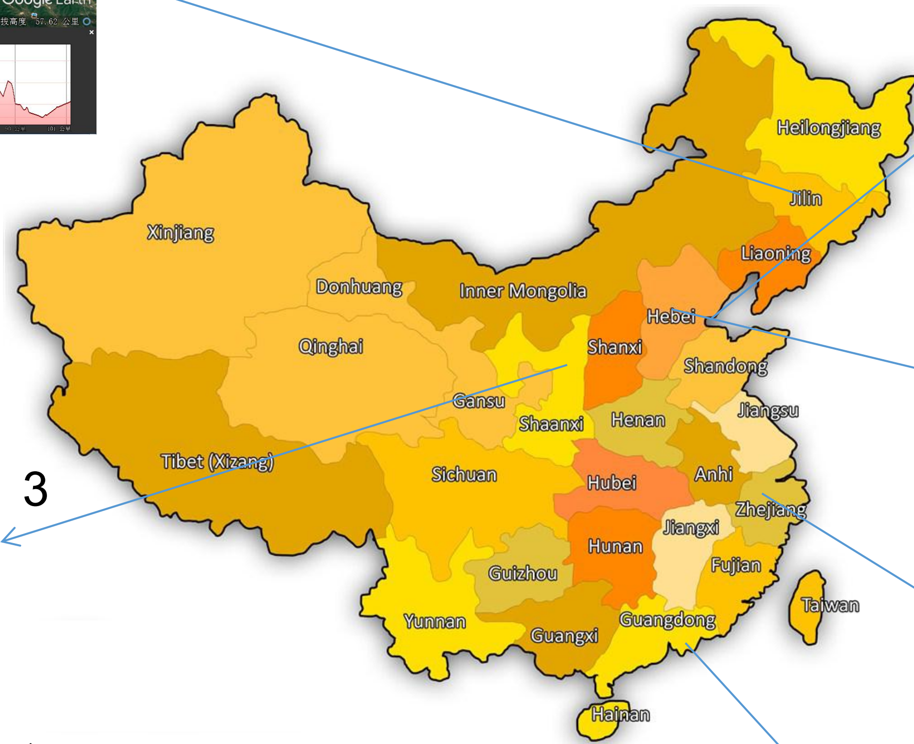
高频加速器隧道

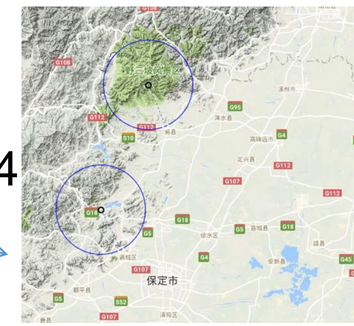
CEPC 选址



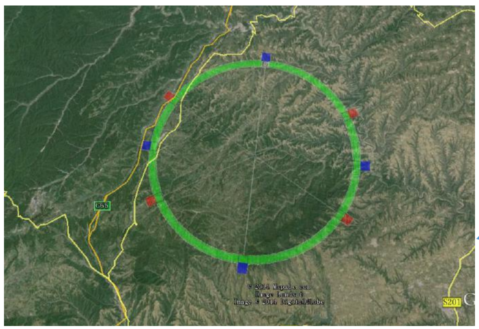
6

1

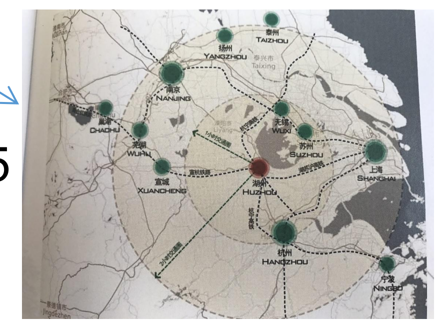




4



3



5

2

1）秦皇岛，河北（ 2014）

2）深汕，广东（2016）

3）黄陵，陕西（2017）

4）雄安，河北（2017，2018）

5）湖州，浙江（2018）

6）长春，吉林（2018）

南（深汕）北（长春）选址的制冷功率差别为25MW。雄安约为12MW左右。

CEPC 产业促进会（CIPC）

成立于 2017年11月7日，高能所

1) 超导材料（超导腔及超导磁铁）
2) 超导腔
3) 低温恒温器
4) 制冷机
5) 速调管
6) 真空技术与工程
7) 电子学
8) 超导高频
9) 电源
10) 土建
11) 精密加工

50 多家企业参与了CIPC。。。

总则

第一条 为了更好地推进CEPC-SppC，协调与CEPC-SppC相关技术的前期预研，组织联合攻关突破关键技术，培育相关企业的技术发展与产业化准备，并开展相关科普宣传工作，争取各方面的支持，支持并将参与 CEPC-SppC关键技术研究和产业化发展的相关企业自愿组织成CEPC-SppC产业促进会（CEPC Industrial Promotion Consortium, CIPC）。

结语

- CEPC 加速器从预概念设计到基准概念设计确定过程进行了回顾
- CEPC加速器概念设计报告内容及完成情况进行了介绍
- CEPC加速器关键技术预研工作进行了介绍，并为进入技术设计报告（TDR）阶段打下基础
- CEPC土建设计及产业化准备进行了介绍

谢谢