BEPC3高频系统设计

张沛

BEPC3项目讨论会，高能所，北京，2021年4月25日

Acknowledgements

Contributions from T.M. Huang, H.J. Zheng, F.C. Zhao, Q.Y. Wang, F.B. Meng, H.Y. Lin, Z.H. Mi and S. Jin are acknowledged.

Outline

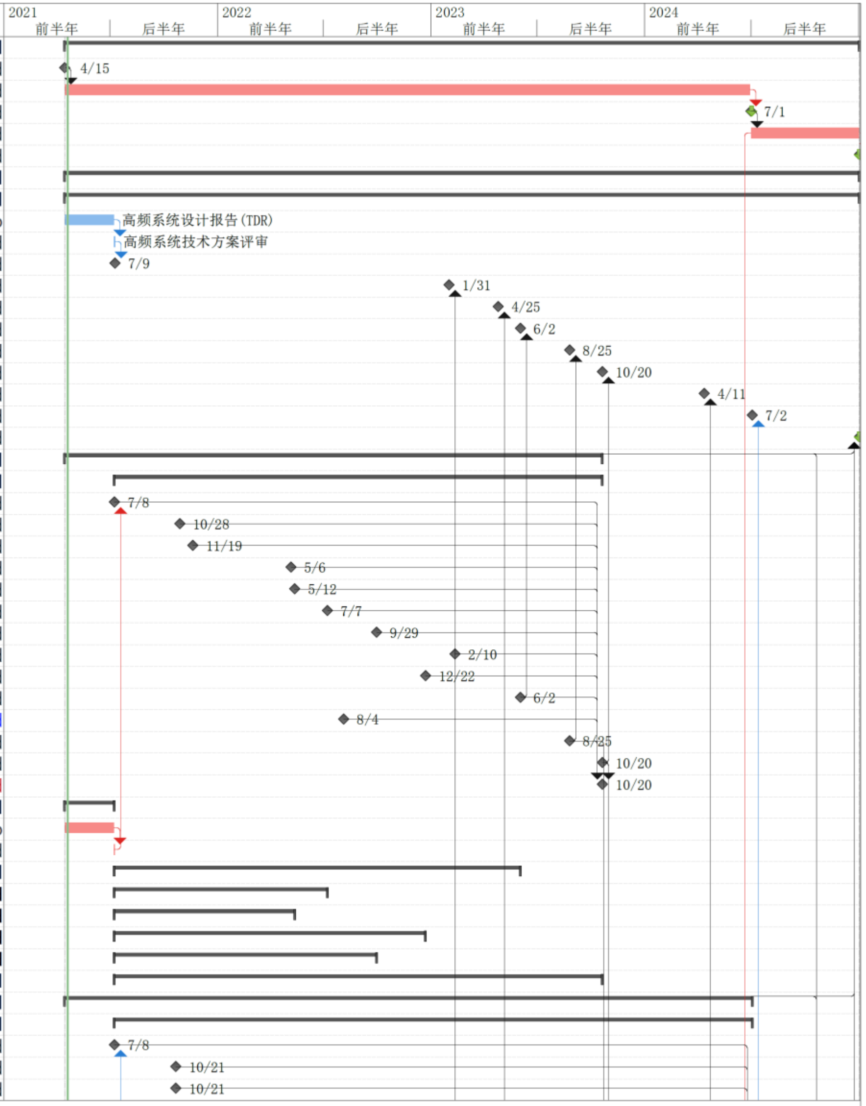
- Scope, Schedule, Budget, Manpower
- Technical Design
- Risk & Mitigation
- Summary

Scope

- **Mandate**
  - Build 2 sets of 500MHz SRF systems
  - Re-use the existing RF system as much as possible
  - Implement "**Two existing + Two new**" strategy
- **Content**
  - Build two sets of 500MHz superconducting RF modules
  - Build two sets of 500MHz power transmitters
  - Build two sets of 500MHz RF control systems

Schedule

标识号		任务模式	任务名称	工期	开始时间	完成时间	前置任务	可用可宽延时间
1			**1 BEPC3零级CPM**	**970 d**	**2021年4月15**	**2025年1月1日**		**0 d**
2			1.1 BEPC3项目启动	0 d	2021年4月15日	2021年4月15日		0 d
3			1.2 BEPC3项目实施	837 d	2021年4月15日	2024年6月28日	2	0 d
4			1.3 BII停机	0 d	2024年7月1日	2024年7月1日	3	0 d
5			1.4 隧道内设备安装	133 d	2024年7月1日	2025年1月1日	4	0 d
6			1.5 开机	0 d	2025年1月1日	2025年1月1日	5	0 d
7			**2 高频系统**	**970 d**	**2021年4月15**	**2025年1月1日**		**0 d**
8			**2.1 高频系统里程碑**	**970 d**	**2021年4月15**	**2025年1月1日**		**0 d**
9			2.1.1 高频系统设计报告(TDR)	3 mo	2021年4月15日	2021年7月7日		0 mo
10			2.1.2 高频系统技术方案评审	2 d	2021年7月8日	2021年7月9日	9	0 d
11			2.1.3 高频系统方案评审通过	0 d	2021年7月9日	2021年7月9日	10	908 d
12			2.1.4 功率源#1出厂测试达标	0 d	2023年1月31日	2023年1月31日	81	501 d
13			2.1.5 功率源#2出厂测试达标	0 d	2023年4月25日	2023年4月25日	82	441 d
14			2.1.6 超导腔垂测达标	0 d	2023年6月2日	2023年6月2日	31	413 d
15			2.1.7 超导组元#1水平测试达标	0 d	2023年8月25日	2023年8月25日	33	353 d
16			2.1.8 超导组元#2水平测试达标	0 d	2023年10月2(	2023年10月20E	34	313 d
17			2.1.9 高频控制子系统BII试运行完成	0 d	2024年4月11日	2024年4月11日	124	189 d
18			2.1.10 高功率子系统BII试运行完成	0 d	2024年7月2日	2024年7月2日	114	131 d
19			2.1.11 高频系统完成	0 d	2025年1月1日	2025年1月1日	20,72,1	0 d
20			**2.2 超导腔子系统**	**657 d**	**2021年4月15**	**2023年10月20日**		**0 d**
21			**2.2.1 超导腔子系统里程碑**	**596 d**	**2021年7月8E**	**2023年10月20日**		**0 d**
22			2.2.1.1 腔技术方案评审通过	0 d	2021年7月8日	2021年7月8日	38	0 d
23			2.2.1.2 腔合同签订完成	0 d	2021年10月2{	2021年10月28E	41	516 d
24			2.2.1.3 腔工艺设计评审通过	0 d	2021年11月1{	2021年11月19E	43	500 d
25			2.2.1.4 腔铌材到货	0 d	2022年5月6日	2022年5月6日	44	380 d
26			2.2.1.5 调谐器批量完成	0 d	2022年5月12日	2022年5月12日	55	376 d
27			2.2.1.6 耦合器批量测试完成	0 d	2022年7月7日	2022年7月7日	52	336 d
28			2.2.1.7 真空器件批量到货	0 d	2022年9月29日	2022年9月29日	65	276 d
29			2.2.1.8 腔批量制造完成	0 d	2023年2月10日	2023年2月10日	45	180 d
30			2.2.1.9 HOM吸收器批量测试完成	0 d	2022年12月2:	2022年12月22E	60	216 d
31			2.2.1.10 腔垂测成功	0 d	2023年6月2日	2023年6月2日	48	0 d
32			2.2.1.11 恒温器制造完成(低温里程	0 d	2022年8月4日	2022年8月4日	67	316 d
33			2.2.1.12 超导组元#1水平测试完成	0 d	2023年8月25日	2023年8月25日	69	0 d
34			2.2.1.13 超导组元#2水平测试完成	0 d	2023年10月2(	2023年10月20E	71	0 d
35			2.2.1.14 超导腔子系统完成	0 d	2023年10月2(	2023年10月20E	22,23,2	260 d
36			**2.2.2 超导腔子系统设计及评审**	**61 d**	**2021年4月15**	**2021年7月8日**		**0 d**
37			2.2.2.1 超导腔子系统设计及优化	3 mo	2021年4月15日	2021年7月7日		0 mo
38			2.2.2.2 超导腔子系统技术方案评审	1 d	2021年7月8日	2021年7月8日	37	0 d
39			**2.2.3 超导裸腔**	**496 d**	**2021年7月9E**	**2023年6月2日**		**0 d**
49			**2.2.4 耦合器**	**260 d**	**2021年7月9E**	**2022年7月7日**		**236 d**
53			**2.2.5 调谐器**	**220 d**	**2021年7月9E**	**2022年5月12日**		**276 d**
56			**2.2.6 HOM吸收器**	**380 d**	**2021年7月9E**	**2022年12月22日**		**116 d**
61			**2.2.7 真空器件**	**320 d**	**2021年7月9E**	**2022年9月29日**		**176 d**
66			**2.2.8 超导组元**	**596 d**	**2021年7月9E**	**2023年10月20日**		**0 d**
72			**2.3 高功率RF子系统**	**839 d**	**2021年4月15**	**2024年7月2日**		**78 d**
73			**2.3.1 高功率RF子系统里程碑**	**778 d**	**2021年7月8E**	**2024年7月2日**		**78 d**
74			2.3.1.1 高功率RF技术方案评审通过	0 d	2021年7月8日	2021年7月8日	88	0 d
75			2.3.1.2 功率源合同签订完成	0 d	2021年10月21	2021年10月21E	91	703 d
76			2.3.1.3 环形器合同签订完成	0 d	2021年10月21	2021年10月21E	101	703 d



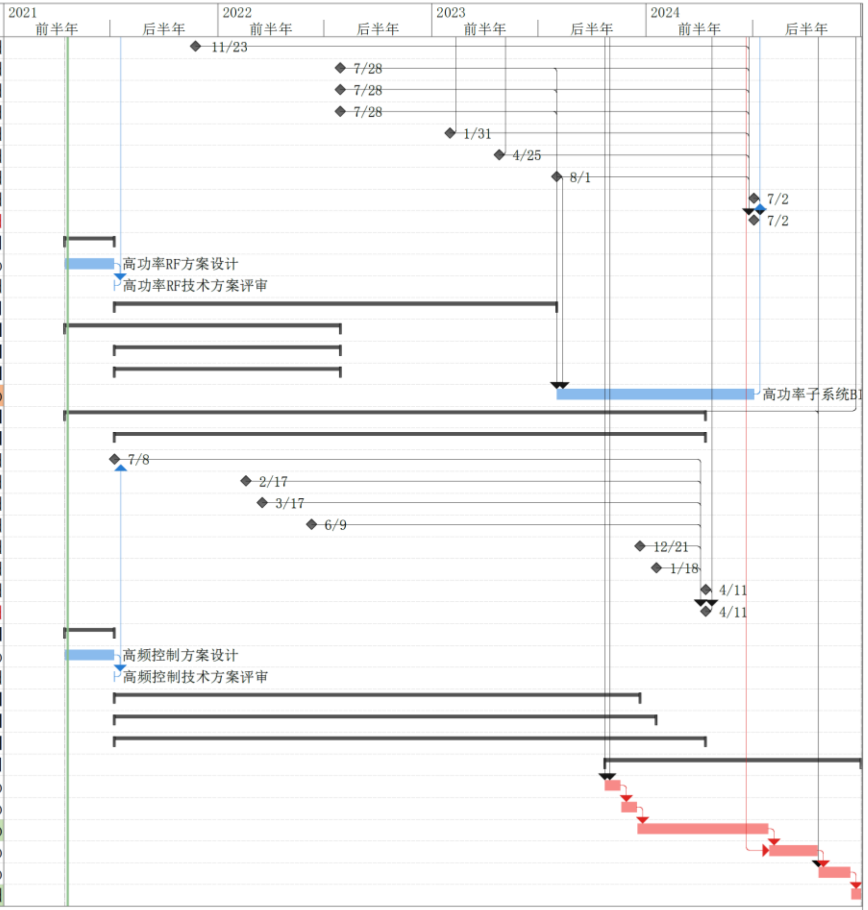
项目：BEPC3-RF
日期：2021年4月20日

任务		项目摘要		手动任务		仅开始时间		最后期限		手动进度	
拆分		非活动任务		仅工期		仅完成时间		关键			
里程碑		非活动里程碑		手动摘要总成		外部任务		关键拆分			
摘要		非活动摘要		手动摘要		外部里程碑		进度			

第 1 页

Schedule

标识号		任务模式	任务名称	工期	开始时间	完成时间	前置任务	可用可宽延时间
77			2.3.1.4 功率源工艺设计评审通过	0 d	2021年11月2	2021年11月23E	93	680 d
78			2.3.1.5 环形器批量完成	0 d	2022年7月28日	2022年7月28日	103	263 d
79			2.3.1.6 负载批量完成	0 d	2022年7月28日	2022年7月28日	108	263 d
80			2.3.1.7 波导器件批量完成	0 d	2022年7月28日	2022年7月28日	113	263 d
81			2.3.1.8 功率源#1出厂测试通过	0 d	2023年1月31日	2023年1月31日	95	0 d
82			2.3.1.9 功率源#2出厂测试通过	0 d	2023年4月25日	2023年4月25日	96	0 d
83			2.3.1.10 功率源批量完成	0 d	2023年8月1日	2023年8月1日	97	0 d
84			2.3.1.11 高功率子系统BII试运行完	0 d	2024年7月2日	2024年7月2日	114	0 d
85			2.3.1.12 高功率RF子系统完成	0 d	2024年7月2日	2024年7月2日	74,75,7	78 d
86			**2.3.2 高功率RF设计及评审**	**61 d**	**2021年4月15**	**2021年7月8日**		**78 d**
87			2.3.2.1 高功率RF方案设计	3 mo	2021年4月15日	2021年7月7日		0 mo
88			2.3.2.2 高功率RF技术方案评审	1 d	2021年7月8日	2021年7月8日	87	0 d
89			**2.3.3 功率源**	**538 d**	**2021年7月9E**	**2023年8月1日**		**78 d**
98			**2.3.4 环形器**	**336 d**	**2021年4月15**	**2022年7月28日**		**341 d**
104			**2.3.5 负载**	**275 d**	**2021年7月9E**	**2022年7月28日**		**341 d**
109			**2.3.6 波导器件**	**275 d**	**2021年7月9E**	**2022年7月28日**		**341 d**
114			2.3.7 高功率子系统BII试运行	12 mo	2023年8月2日	2024年7月2日	78,79,8	0 mo
115			**2.4 高频控制子系统**	**781 d**	**2021年4月15**	**2024年4月11日**		**136 d**
116			**2.4.1 高频控制子系统里程碑**	**720 d**	**2021年7月8E**	**2024年4月11日**		**136 d**
117			2.4.1.1 高频控制技术方案评审通过	0 d	2021年7月8日	2021年7月8日	127	0 d
118			2.4.1.2 LLRF批量调试完成	0 d	2022年2月17日	2022年2月17日	131	560 d
119			2.4.1.3 联锁保护系统批量调试完成	0 d	2022年3月17日	2022年3月17日	136	540 d
120			2.4.1.4 丢束诊断系统批量调试完成	0 d	2022年6月9日	2022年6月9日	141	480 d
121			2.4.1.5 LLRF试运行完成	0 d	2023年12月21	2023年12月21E	132	80 d
122			2.4.1.6 联锁保护系统试运行完成	0 d	2024年1月18日	2024年1月18日	137	60 d
123			2.4.1.7 丢束诊断系统试运行完成	0 d	2024年4月11日	2024年4月11日	142	0 d
124			2.4.1.8 高频控制子系统完成	0 d	2024年4月11日	2024年4月11日	117,11	0 d
125			**2.4.2 高频控制子系统设计及评审**	**61 d**	**2021年4月15**	**2021年7月8日**		**136 d**
126			2.4.2.1 高频控制方案设计	3 mo	2021年4月15日	2021年7月7日		0 mo
127			2.4.2.2 高频控制技术方案评审	1 d	2021年7月8日	2021年7月8日	126	0 d
128			**2.4.3 LLRF**	**640 d**	**2021年7月9E**	**2023年12月21**		**216 d**
133			**2.4.4 联锁保护系统**	**660 d**	**2021年7月9E**	**2024年1月18日**		**196 d**
138			**2.4.5 丢束诊断系统**	**720 d**	**2021年7月9E**	**2024年4月11日**		**136 d**
143			**2.5 高频系统安装及集成**	**313 d**	**2023年10月2**	**2025年1月1日**		**0 d**
144			2.5.1 超导组元批量运输(PAPS->BEP	1 mo	2023年10月2	2023年11月17E	33,34	0 mo
145			2.5.2 超导组元检查	1 mo	2023年11月2	2023年12月15E	144	0 mo
146			2.5.3 超导组元buffer time	8 mo	2023年12月1	2024年7月26日	145	0 mo
147			2.5.4 超导组元隧道内安装	3 mo	2024年7月29日	2024年10月18E	146,5S	0 mo
148			2.5.5 高频系统整体集成及联调	2 mo	2024年10月21	2024年12月13E	147,20,	0 mo
149			2.5.6 高频系统buffer time	13 d	2024年12月1	2025年1月1日	148	0 d



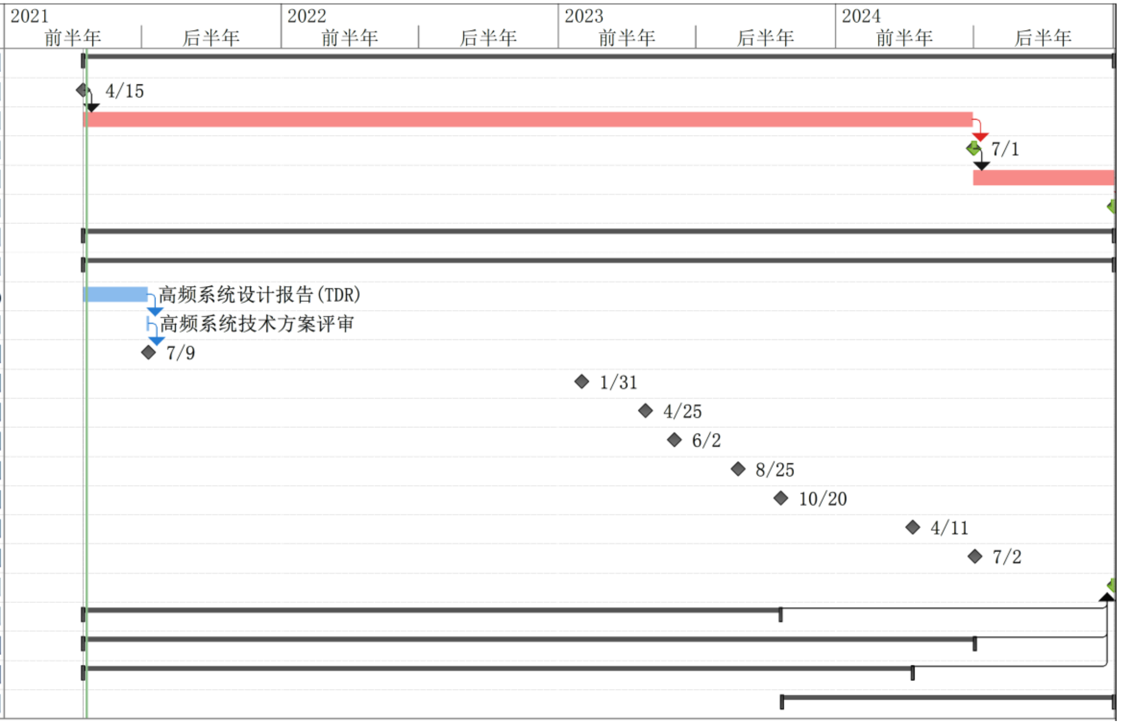
项目：BEPC3-RF
日期：2021年4月20日

任务 / 拆分 / 里程碑 / 摘要 / 项目摘要 / 非活动任务 / 非活动里程碑 / 非活动摘要 / 手动任务 / 仅工期 / 手动摘要总成 / 手动摘要 / 仅开始时间 / 仅完成时间 / 外部任务 / 外部里程碑 / 最后期限 / 关键 / 关键拆分 / 进度 / 手动进度

System milestones

- Preliminary schedule without considering manpower
- Overlap with HEPS not fully incorporated

标识号		任务模式	任务名称	工期	开始时间	完成时间	前置任务	可用可宽延时间
1			**1 BEPC3零级CPM**	**970 d**	**2021年4月15日**	**2025年1月1日**		**0 d**
2			1.1 BEPC3项目启动	0 d	2021年4月15日	2021年4月15日		0 d
3			1.2 BEPC3项目实施	837 d	2021年4月15日	2024年6月28日	2	0 d
4			1.3 BII停机	0 d	2024年7月1日	2024年7月1日	3	0 d
5			1.4 隧道内设备安装	133 d	2024年7月1日	2025年1月1日	4	0 d
6			1.5 开机	0 d	2025年1月1日	2025年1月1日	5	0 d
7			**2 高频系统**	**970 d**	**2021年4月15日**	**2025年1月1日**		**0 d**
8			**2.1 高频系统里程碑**	**970 d**	**2021年4月15日**	**2025年1月1日**		**0 d**
9			2.1.1 高频系统设计报告(TDR)	3 mo	2021年4月15日	2021年7月7日		0 mo
10			2.1.2 高频系统技术方案评审	2 d	2021年7月8日	2021年7月9日	9	0 d
11			2.1.3 高频系统方案评审通过	0 d	2021年7月9日	2021年7月9日	10	908 d
12			2.1.4 功率源#1出厂测试达标	0 d	2023年1月31日	2023年1月31日	81	501 d
13			2.1.5 功率源#2出厂测试达标	0 d	2023年4月25日	2023年4月25日	82	441 d
14			2.1.6 超导腔垂测达标	0 d	2023年6月2日	2023年6月2日	31	413 d
15			2.1.7 超导组元#1水平测试达标	0 d	2023年8月25日	2023年8月25日	33	353 d
16			2.1.8 超导组元#2水平测试达标	0 d	2023年10月20日	2023年10月20日	34	313 d
17			2.1.9 高频控制子系统BII试运行完成	0 d	2024年4月11日	2024年4月11日	124	189 d
18			2.1.10 高功率子系统BII试运行完成	0 d	2024年7月2日	2024年7月2日	114	131 d
19			2.1.11 高频系统完成	0 d	2025年1月1日	2025年1月1日	20,72,1	0 d
20			**2.2 超导腔子系统**	**657 d**	**2021年4月15日**	**2023年10月20日**		**0 d**
72			**2.3 高功率RF子系统**	**839 d**	**2021年4月15日**	**2024年7月2日**		**78 d**
115			**2.4 高频控制子系统**	**781 d**	**2021年4月15日**	**2024年4月11日**		**136 d**
143			**2.5 高频系统安装及集成**	**313 d**	**2023年10月23日**	**2025年1月1日**		**0 d**



Budget

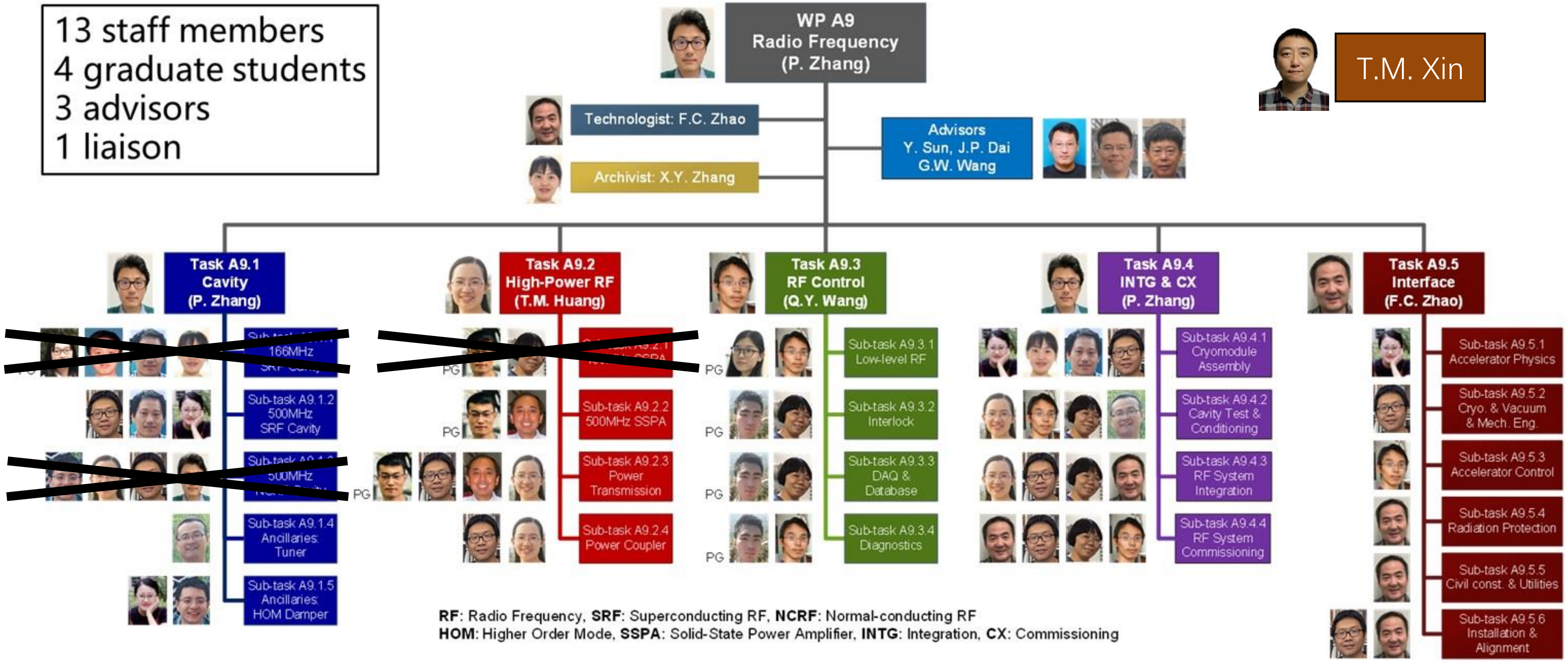
总经费：**4800万元**（2021年4月7日调整后）

	经费预算 (万元)
超导腔系统	1858
功率源及功率传输	2370
高频本地控制系统	260
测试及安装调试	312
合计	**4800**

Team

- **Two projects, one team (HEPS and BEPC3)**
  - Pros: similar technical requirements, smooth R&D and management
  - Cons: schedule highly overlap with HEPS (delay), engineering staff shortage

13 staff members
4 graduate students
3 advisors
1 liaison



Requirements and upgrade plan

IHEP

中国科学院高能物理研究所加速器中心
北京市玉泉路十九号乙，100039

技术通知书

项目(Project)	BEPC-II		
发送(To)	高频组	发自(From)	物理组
日期(Date)	2021 年 3 月 31 日	编号(No)	
主题(Subject)	高频系统的物理设计要求	页数(Pages)	1 页，共 1 页
附件(Att.)			
抄送(CC)	控制组		

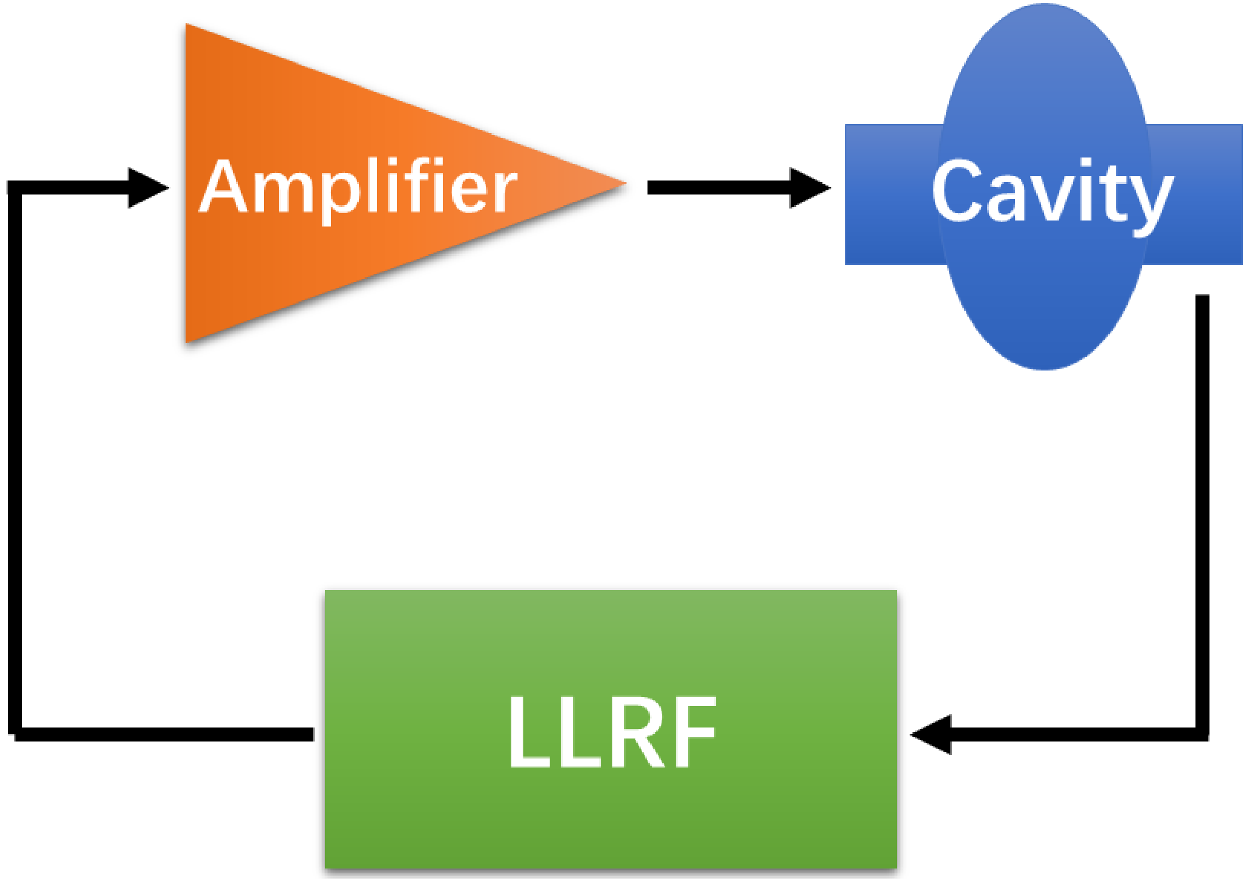
内容 (Content)：

高频腔数目	2
频率 (MHz)	499.8
加速电压 (稳定运行)/腔 (MV)	1.75
总功率/腔(kW)	145 *
幅度稳定度	±0.5%
相位稳定度	±0.5°
相位调节范围	0~720°

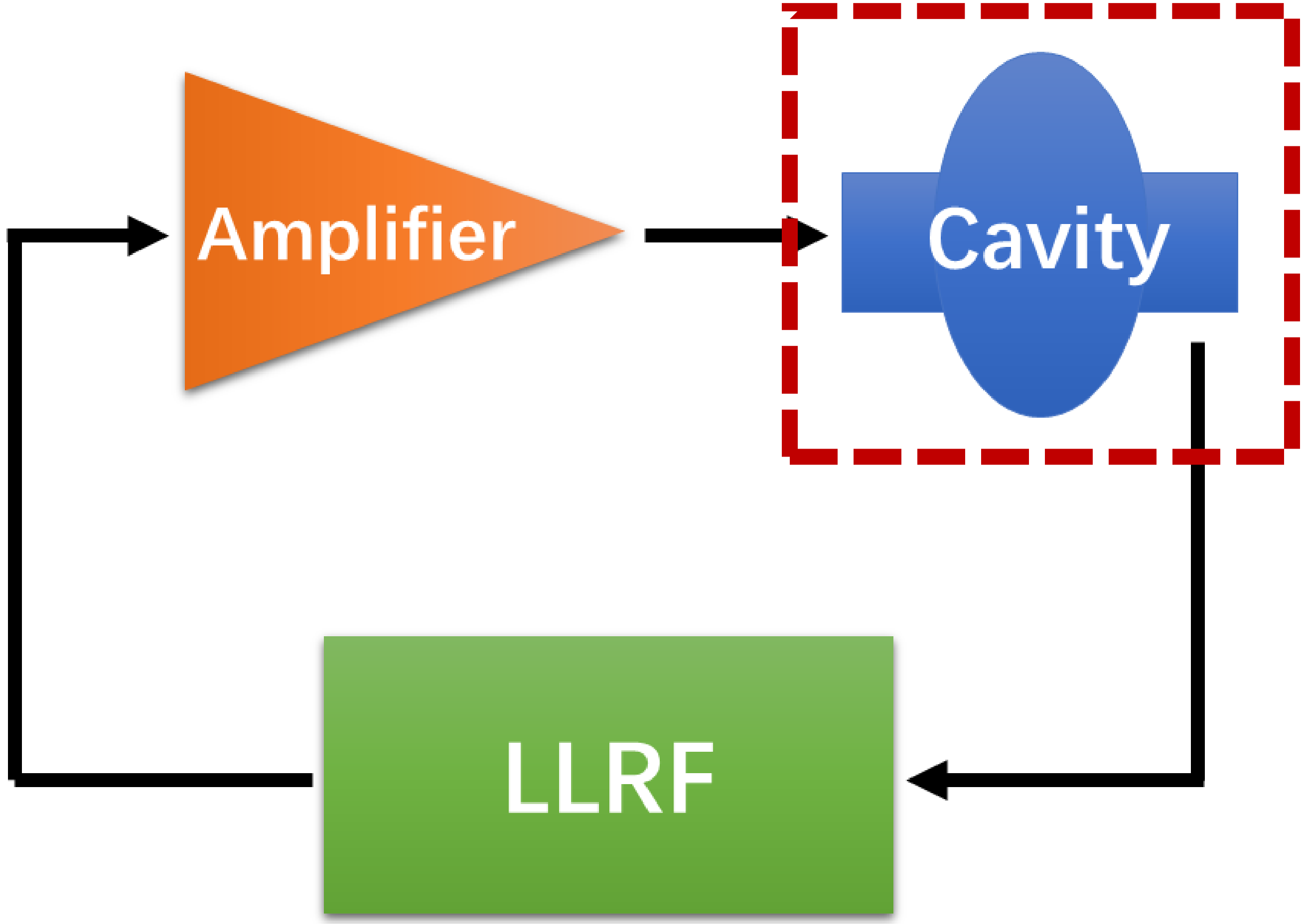
注：表中各参量均应在中央控制室显示，相位及高频腔压可在中央控制室调节。
*: 包含束流功率（单束 250kW）和高次模功率（单束 40kW）损耗

- **Upgrade scheme**
  - Re-use existing RF system
  - Only add necessary hardware
- **Roadmap**
  - 500MHz mono-cell SRF cavity
  - 500MHz solid-state amplifier
  - 500MHz digital low-level RF

Building blocks



Task 1: Cavity



Cavity parameters

Parameter	Unit	BII	B3
RF frequency	MHz	499.8	499.8
Cavity operating voltage (Vc_op)	MV	**1.6**	**1.75**
Specified unloaded Q at Vc_op	-	≥5e8	≥1e9
Operating temperature	K	4.2	4.2
RF power per cavity	kW	145	145
Loaded Q	-	2e5	2e5
Cavity loaded bandwidth	kHz	2.5	2.5
FPC designed power (T.W. C.W.)	kW	200	200

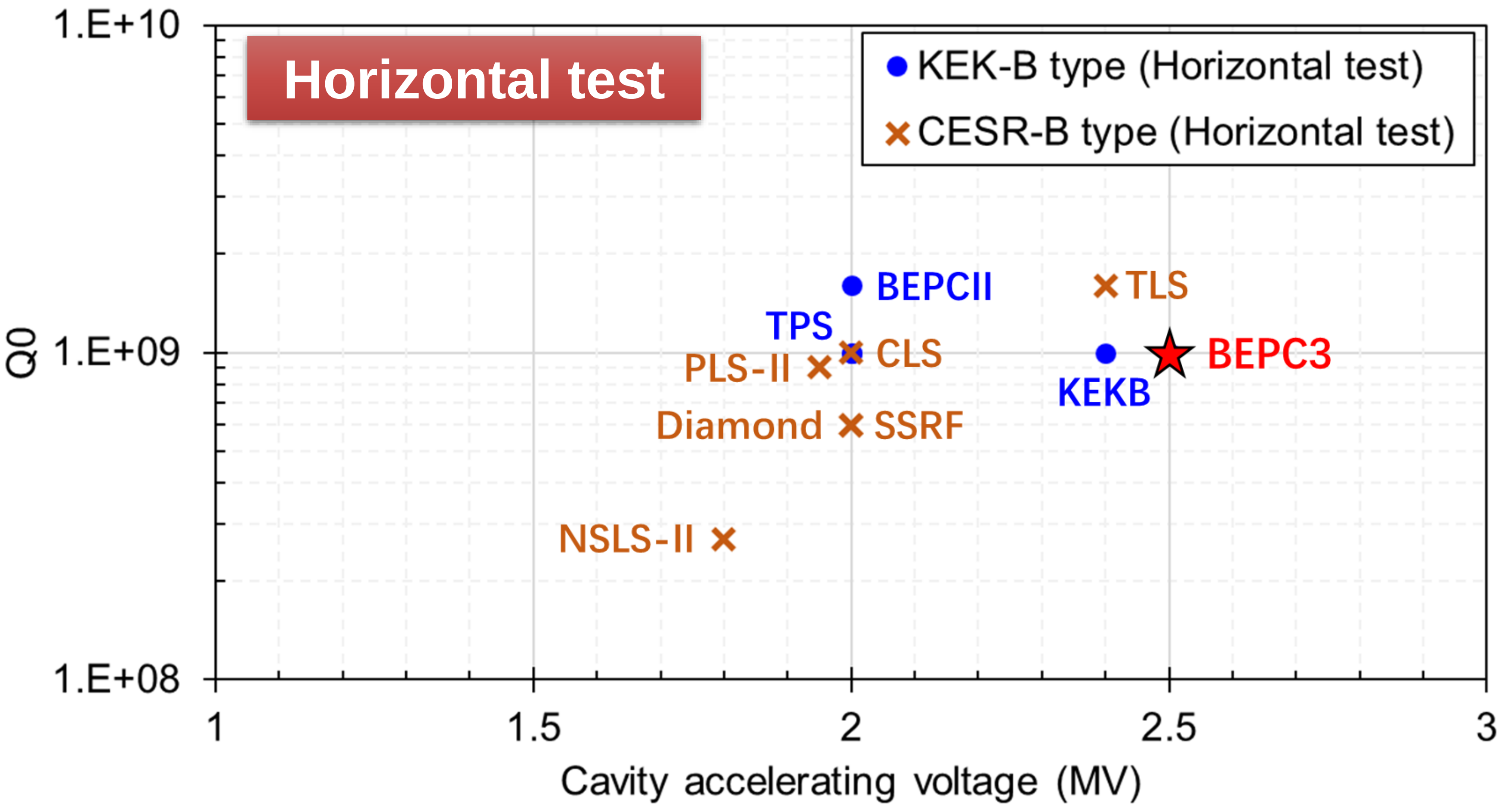
Cavity survey

Machine	Type	Vendor	Cav #	Vc_HT (MV)	Q0 @Vc_HT	Vc_op (MV)	Pf_op (kW)
BEPC3	KEK-B	IHEP	2	2.5	1.0×10^9	1.75	145
BEPCII (Beijing)	KEK-B	Mitsubishi	2	2.4	1.0×10^9	1.6	145
	KEK-B	IHEP	1	2.0	1.0×10^9	1.6	145
KEKB (Japan)	KEK-B	Mitsubishi	8	2.4	1.0×10^9	1.5	250
TPS (Taiwan)	KEK-B	Mitsubishi	2	2.0	1.0×10^9	1.6	220
SSRF (Shanghai)	CESR-B	RI	3	2.0	6.0×10^8	1.6	145
TLS (Taiwan)	CESR-B	RI	1	2.4	1.6×10^9	1.6	80
NSLS-II (USA)	CESR-B	RI	4	1.8	2.7×10^8	1.8	130
CLS (Canada)	CESR-B	RI	1	2.0	1.0×10^9	2.4	240
Diamond (UK)	CESR-B	RI	2	2.0	6.0×10^8	1.4	170
PLS-II (SK)	CESR-B	RI	3	1.95	9.0×10^8	1.5	170

Cavity survey

- **Challenges**

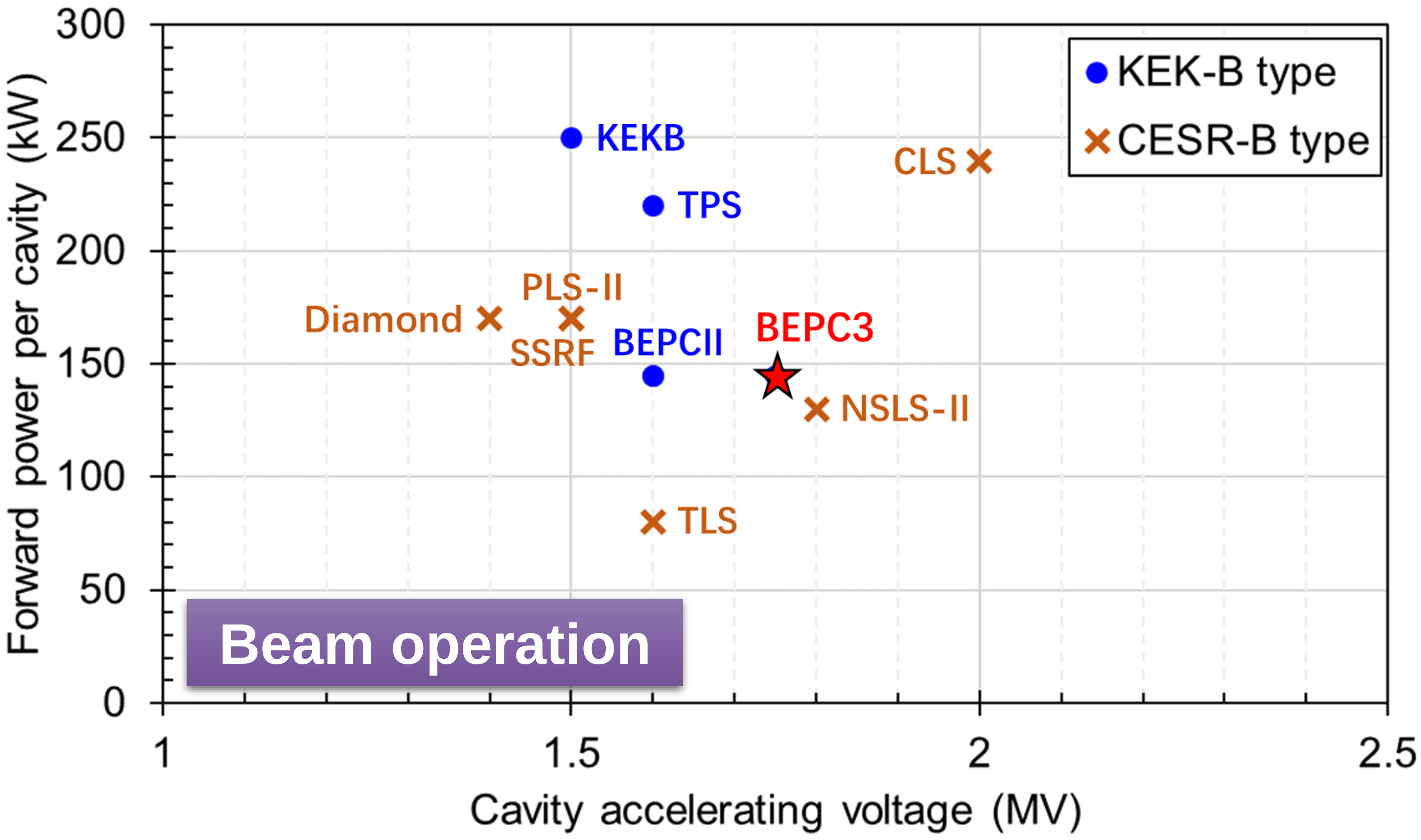
  - high accelerating voltage with high quality factor specified



Cavity survey

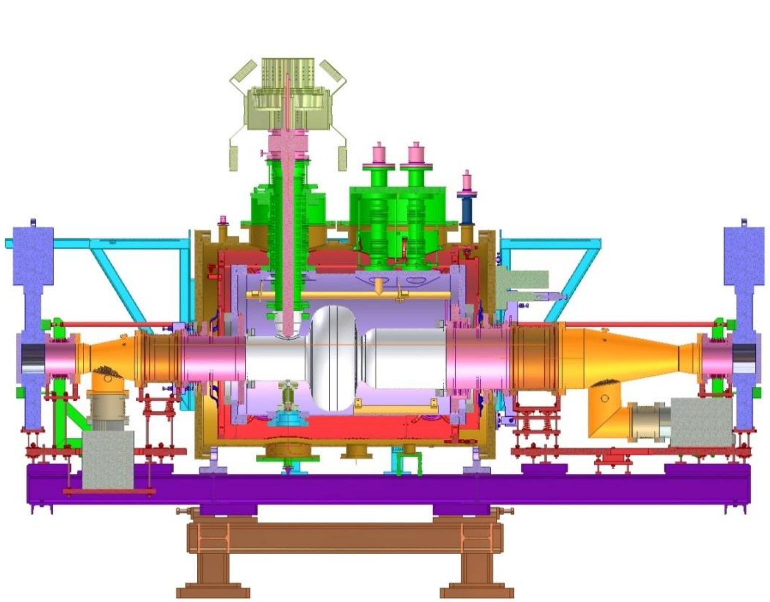
- **Beam operation**

  - moderate accelerating voltage and power level

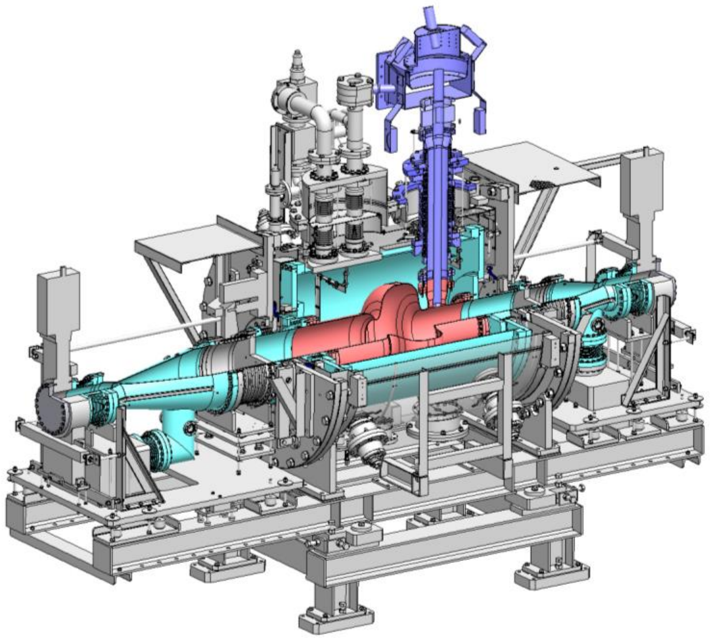


Cavity development

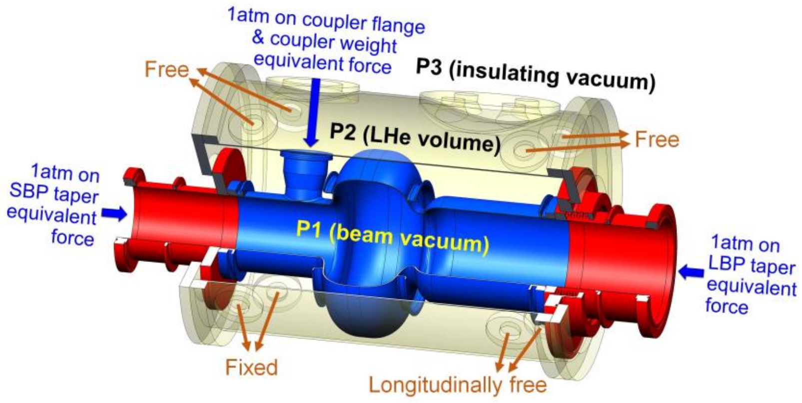
- Similar design to BEPCII spare cavity and HEPS 3rd harmonic cavity
  - comprehensive simulation performed
  - minor geometrical optimization implemented



BEPCII



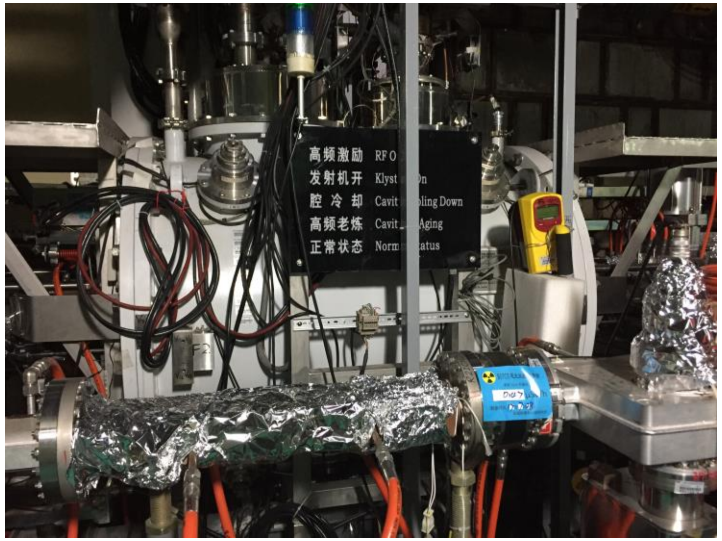
HEPS



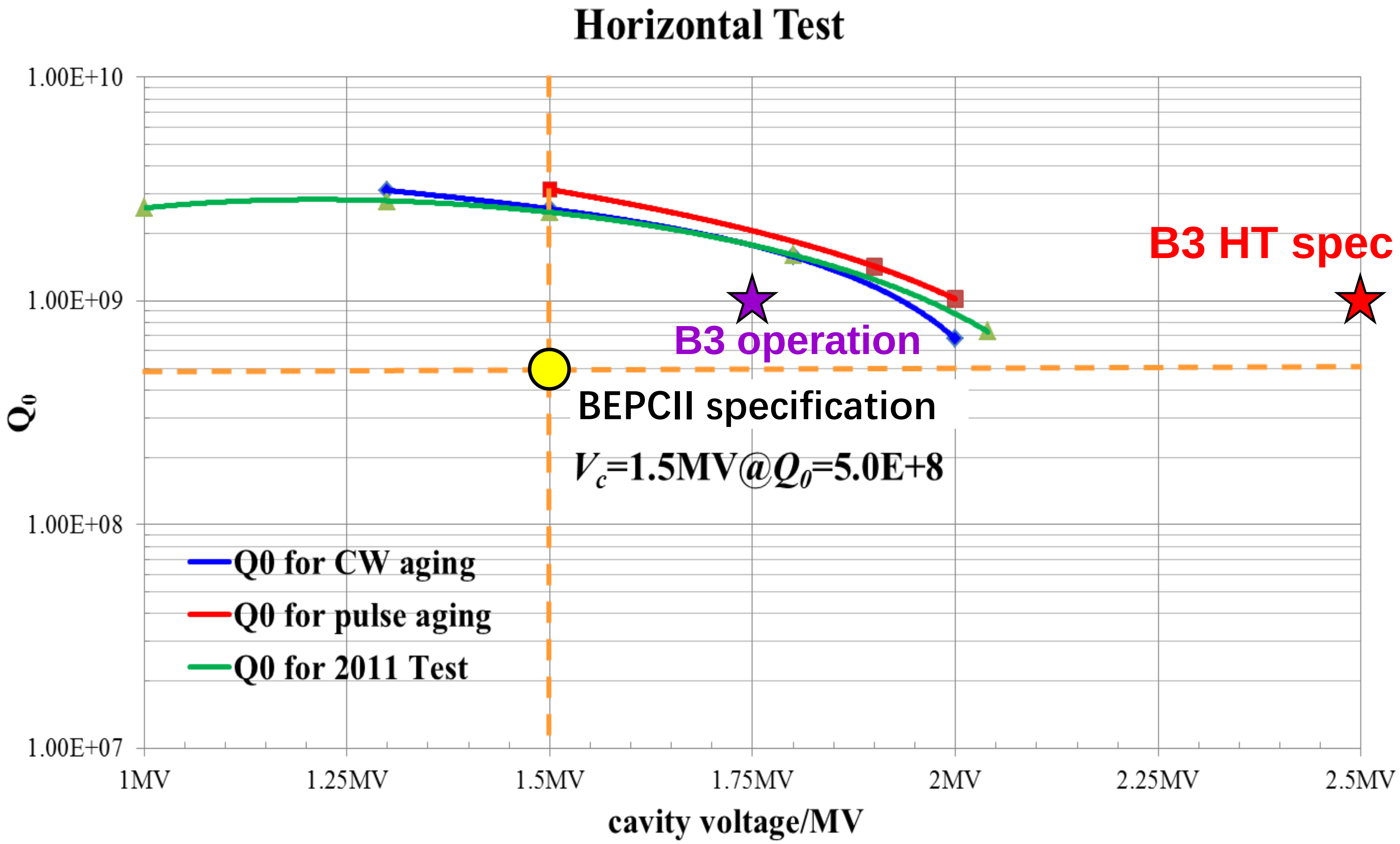
HEPS

[1] Z.Q. Li, T. Furuya, G.W. Wang, et al., in SRF2007, WEP23.
[2] Y.P. Liu, G.W. Wang, W.M. Pan, et al., in *China Physics Mechanics & Astronomy* **54** (2 Supplement), 178-181 (2011).
[3] H.J. Zheng, P. Zhang, Z.Q. Li, et al., in *IEEE Transactions on Applied Superconductivity* **31**, 3500109 (2021).

BEPCII spare cavity performance



BEPCII spare cavity
Beam operation since 2017

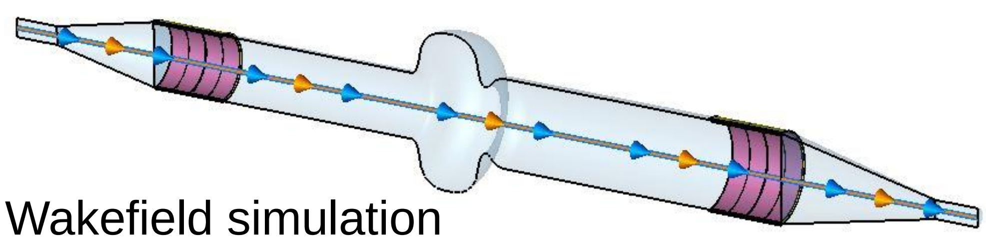


Z.H. Mi, Y. Sun, G.W. Wang, et al., in *Chinese Physics C* **36** (10), 996-999 (2012).

Higher Order Modes

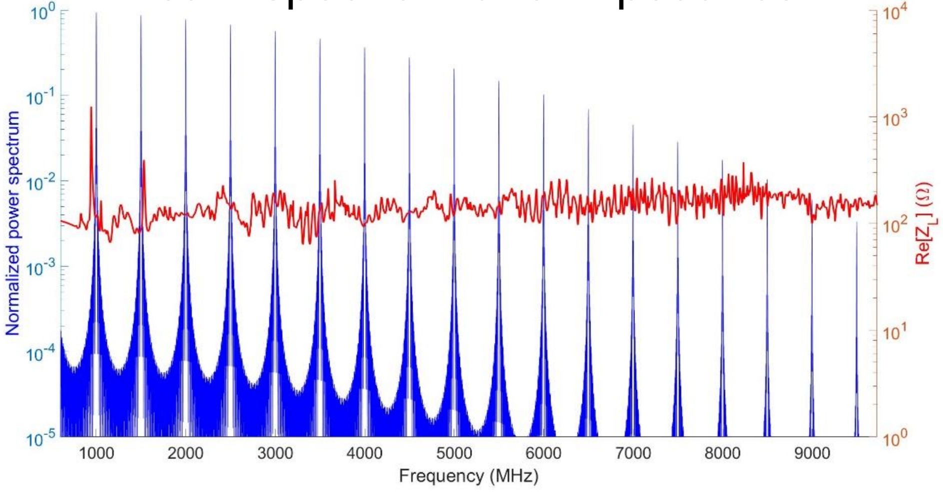
- Damping of HOM sufficient for BEPC3

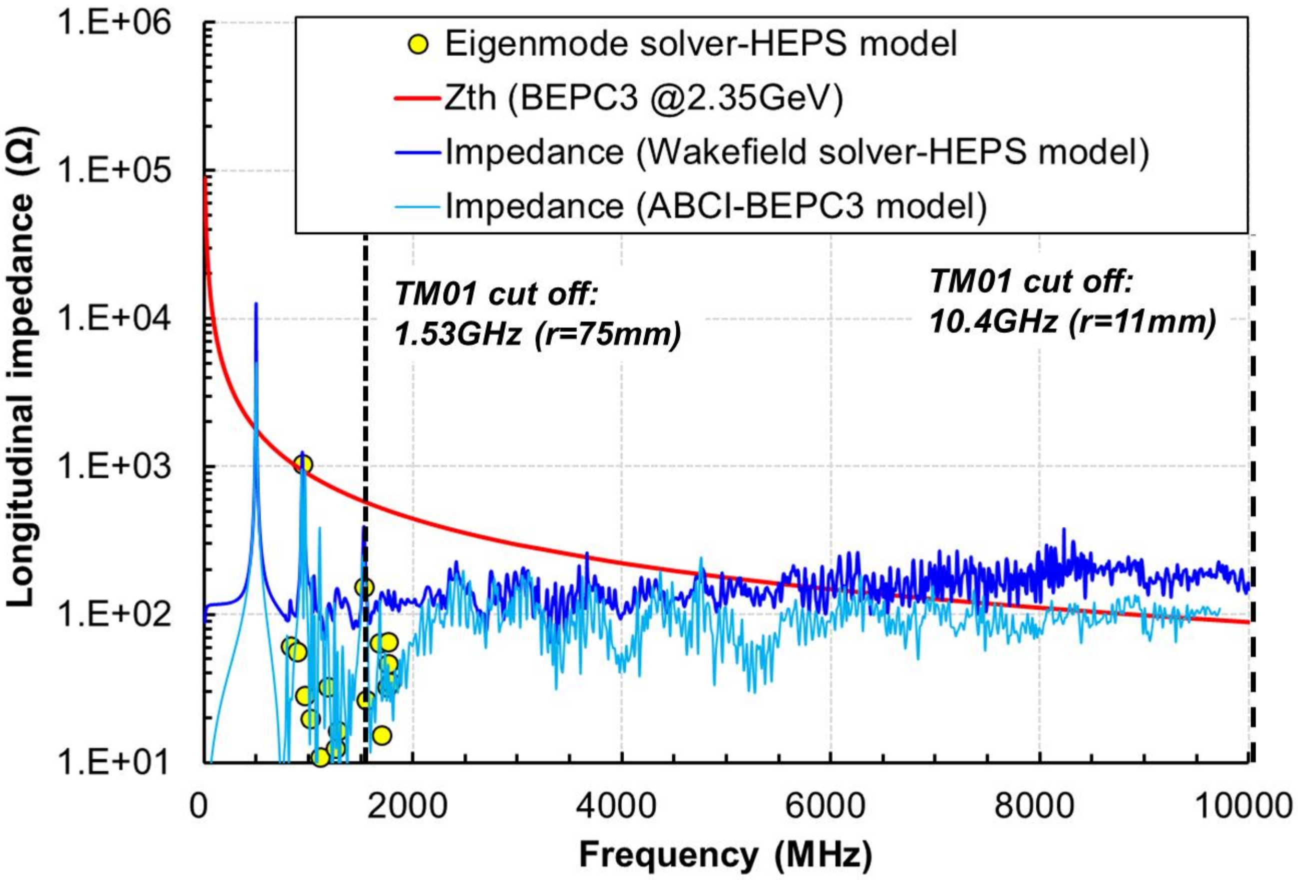
  - HOM power per cavity: ~3kW (120 bunches in 396 buckets)



Wakefield simulation

Beam spectrum and impedance





郑洪娟、张沛，“BEPC3超导腔高阶模抑制要求”，IHEP Internal Note: BEPC3-RF-TN-2020-001.

Things to be done

☐ Cavity module review

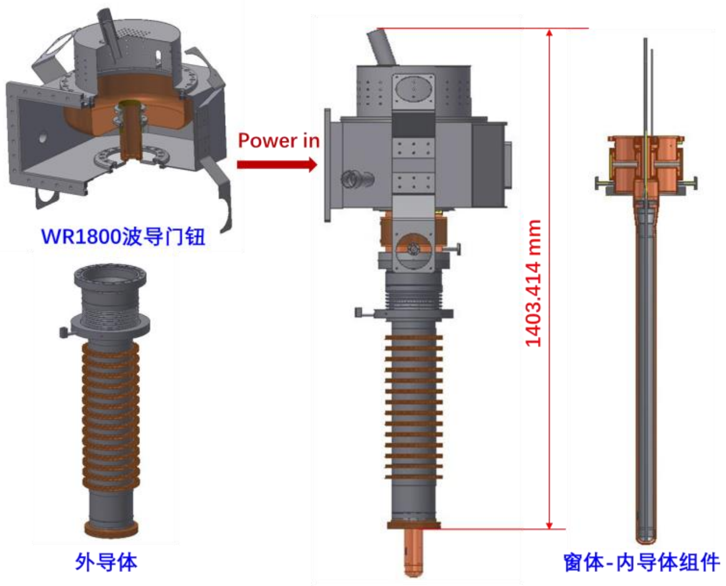
☐ Check synchrotron light collimation

☐ Calculate HOM with BEPC3 cavity model

☐ Check interface with vacuum and mechanical system

Cavity ancillaries: power coupler

Parameter	Value
Power	200 kW (CW)
Frequency	499.8 MHz
Qext	2e5
Coupling type	Electric
Interface	WR1800 Rec. WG
Characteristic Z	50 Ohm
Coupler type	Coaxial, single window
Window type	Coaxial disk with choke
Transmission	S11 < -20dB
Cooling	• IC: water • OC: GHe • T-box: forced air

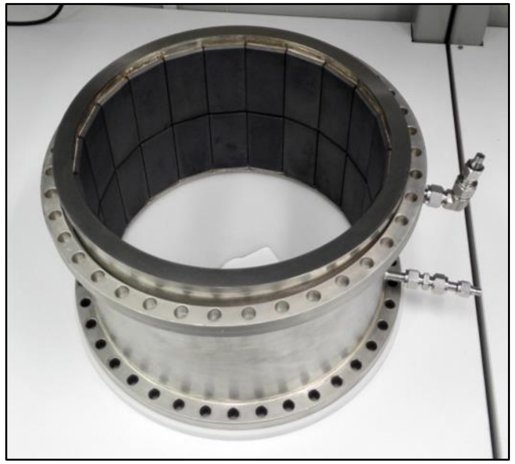


BEPCII couplers, >200kW

T. Huang, W. Pan, Q. Ma, et al., in *NIM-A* **623**, 895(2010).

Cavity ancillaries: HOM absorber

2010, D220mm



2018, D300mm

2018, ϕ340mm, D300mm

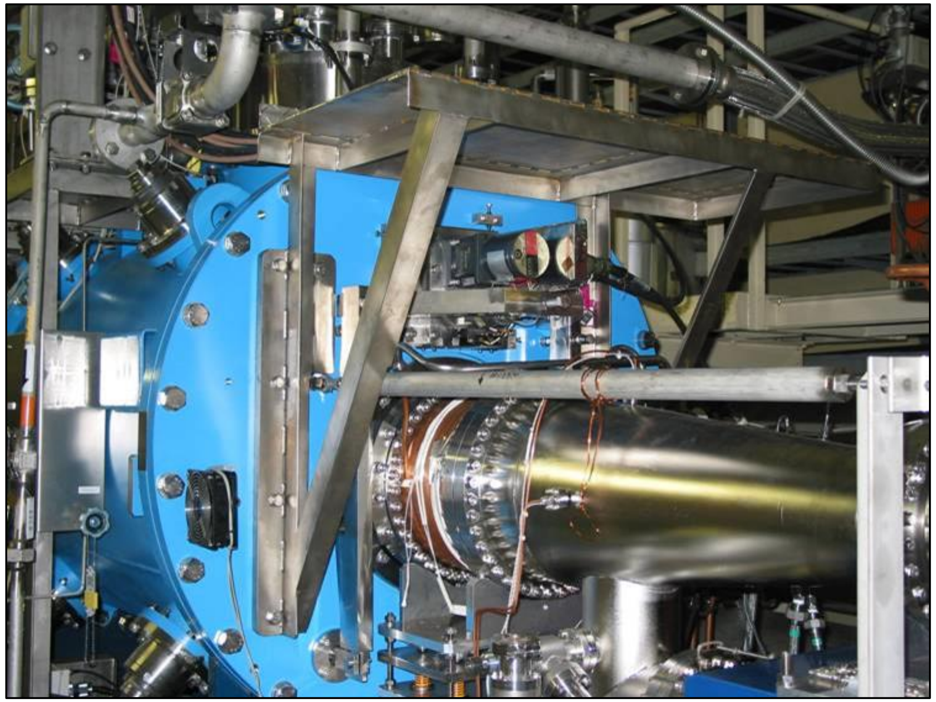
2021, D505mm

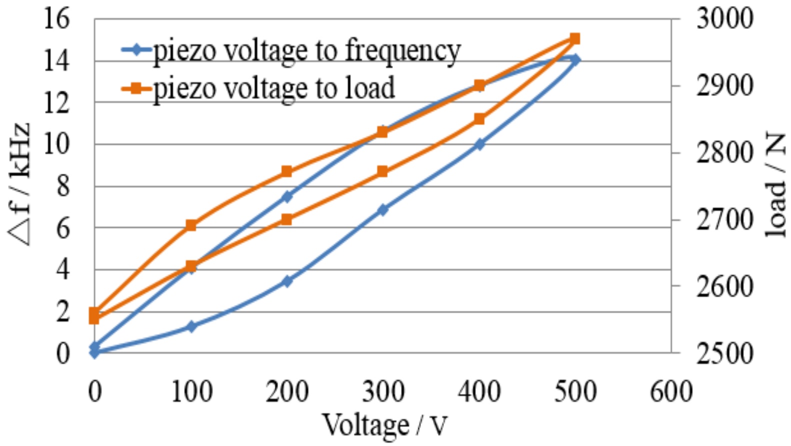
High-power test (2009)

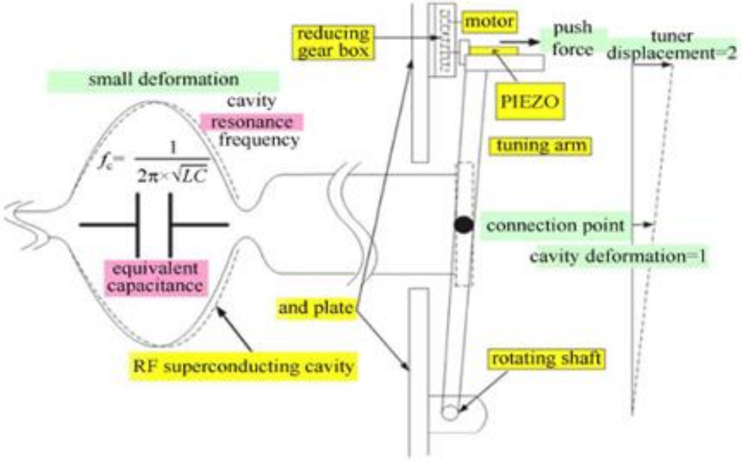
High-power test (2017)

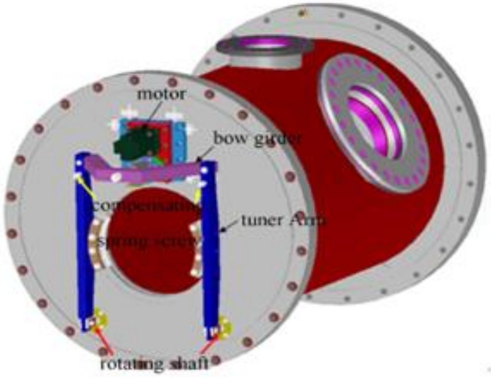
Cavity ancillaries: tuner

Type	Motor	Piezo
Tuning rate	Low	High
Stroke	4 mm	~280 um
Sensitivity	330kHz/mm	
Tuning range	660 kHz	~30 kHz
Resolution	um	~10 nm
Op. Temp	RT	RT
Number	1	1
Harm. drive ratio	1:50	--



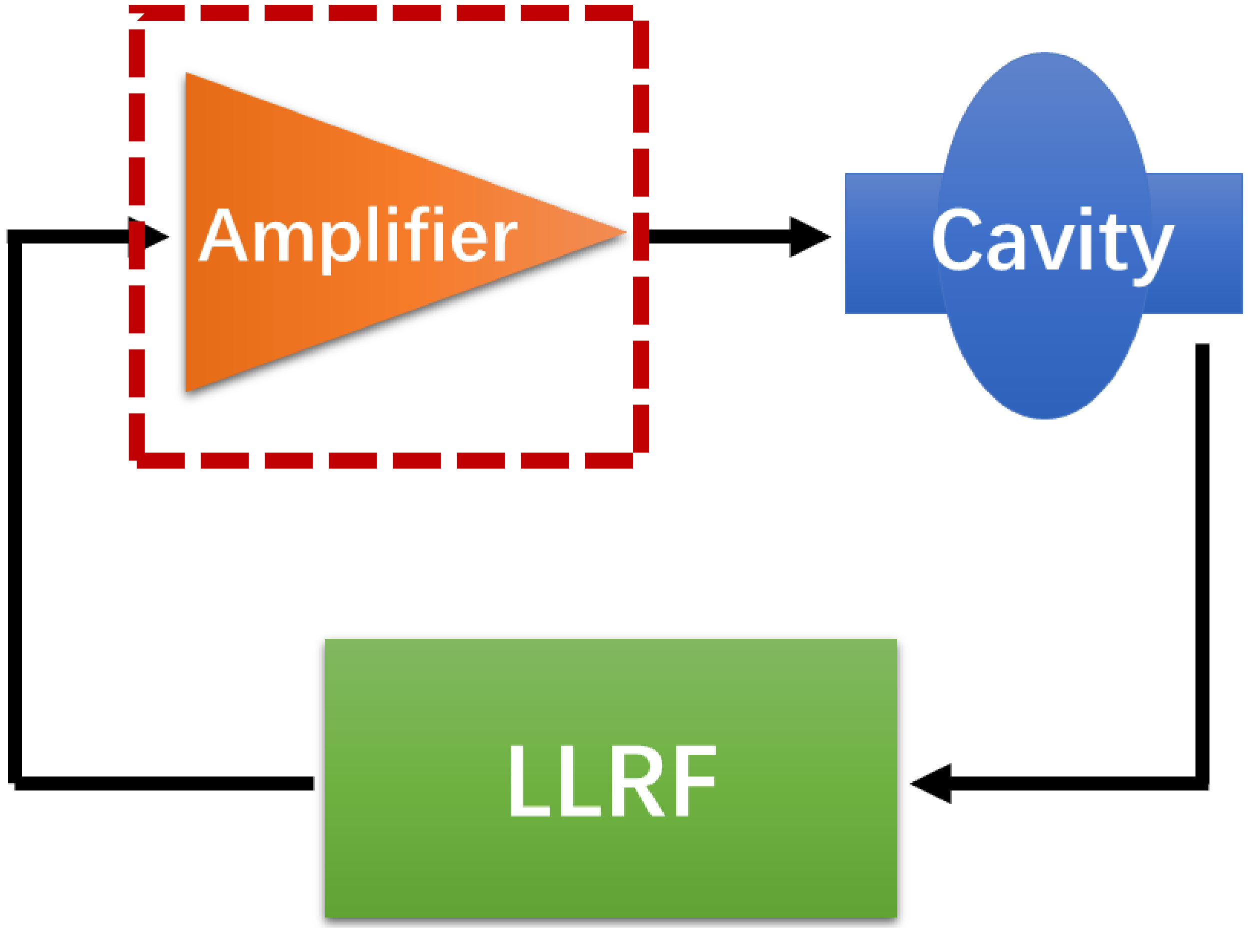






Z.H. Mi, Y. Sun, W.M. Pan, et al., in *Chinese Physics C* **37**(8), 087003(2013).

Task 2: Amplifier



HPRF parameters

Parameter	Value
Beam power per ring (kW)	250
HOM power per ring* (kW)	40
Total RF power per ring (kW)	290
Number of cavity per ring	2
RF power required per cavity (kW)	145
RF power transmission loss (kW)	20
Minimum output power per cavity (kW)	165
RF power per transmitter (kW)	200 (B3 new), 250 (BII ext.)
Power reservation	17.5% (B3 new), 33% (BII ext.)

* Estimated by accelerator physics system.

Hybrid RF transmitters

HEPS solid-state amplifier

Solid-state amplifier (SSA)

- High-power SSA in accelerators pioneered at SOLEIL (France) in early 2000s
- In China, development for accelerators since ADS project at 2012
- Proven and fast-developing technology in radio, TV and telecommunication industries

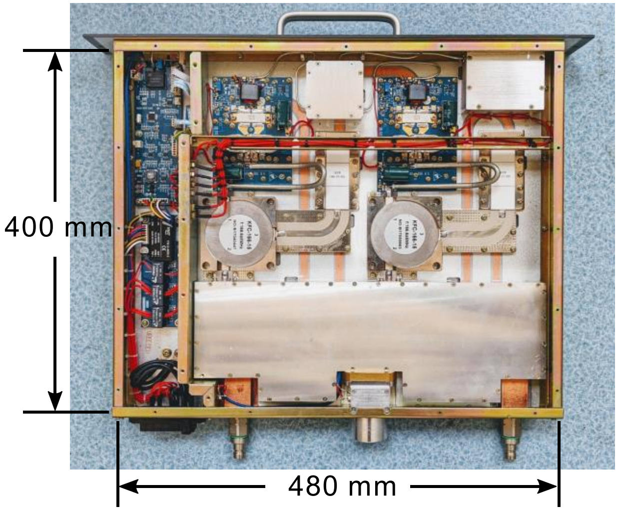
ADS 650MHz/150kW SSA

HEPS 166MHz/260kW SSA

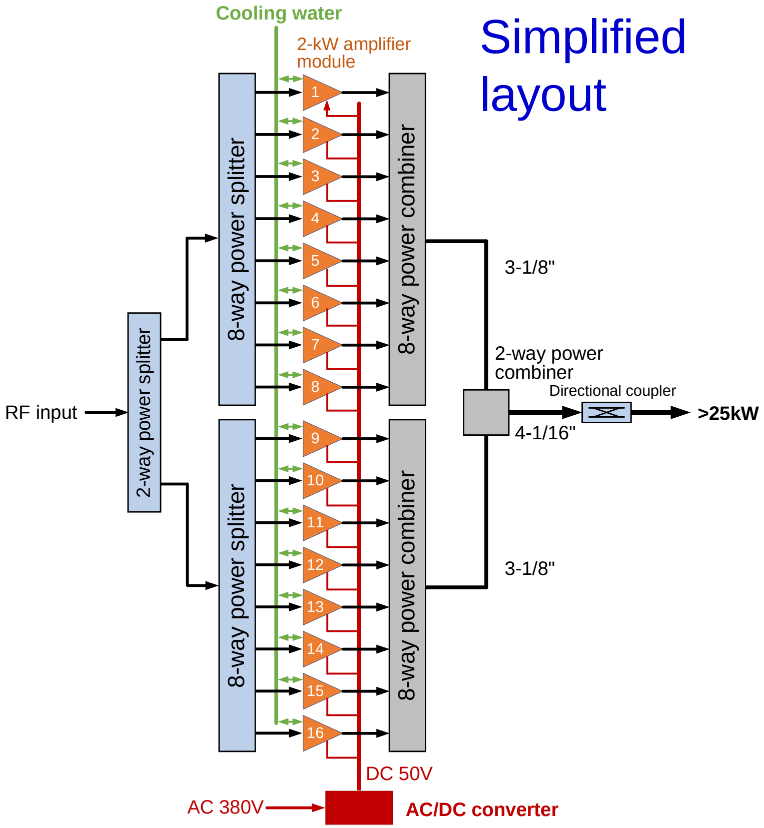
State-of-the-art technology

- **Technology choice: solid-state power amplifier (SSA)**
  - Fast-developing technology, frequency range in UHF for TV transmitter
  - High modularity, compact footprint
  - No high voltage
  - Easy to maintain
  - Decreasing price per kW

2kW amplifier module



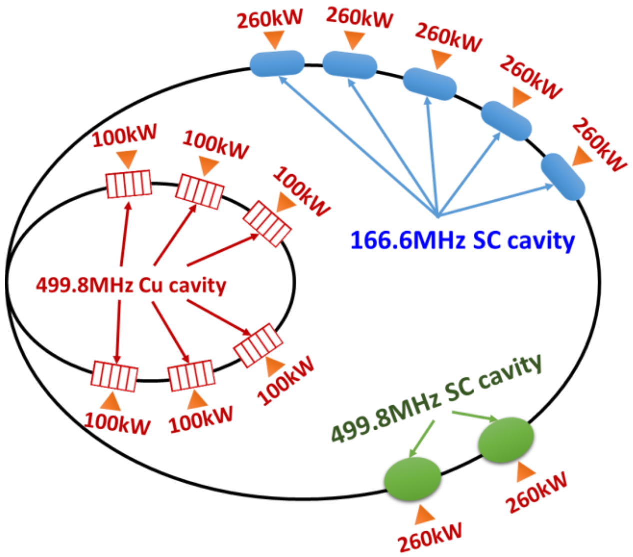
Simplified layout



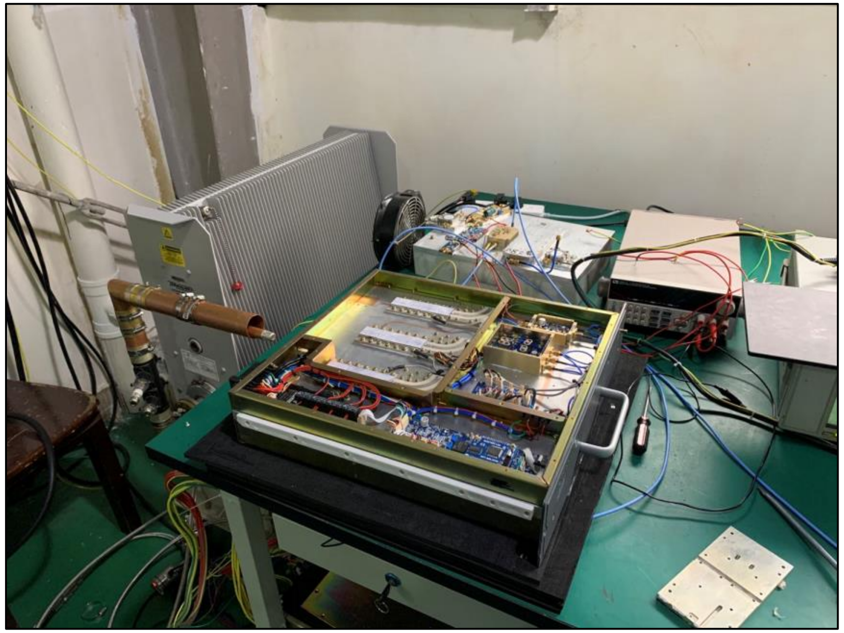
HEPS-TF 166MHz/50kW SSA

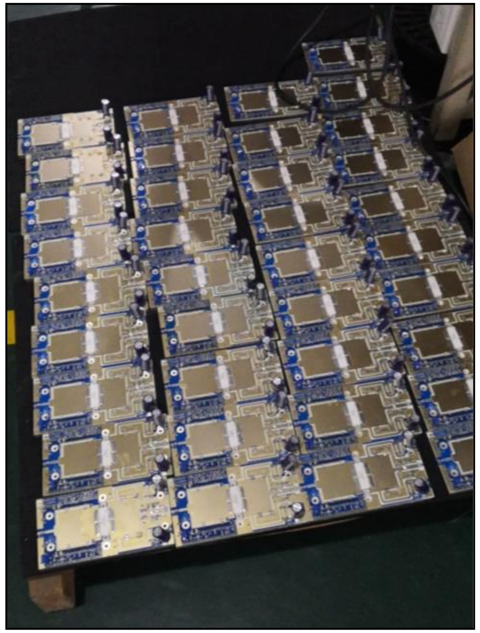
Y.L. Luo, P. Zhang, H.Y. Lin, et al., *Journal of Instrumentation*, in press (2021).

Development for HEPS

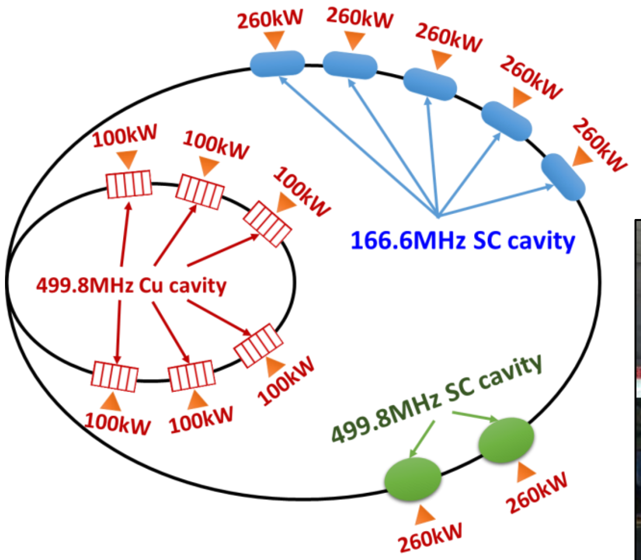


- HEPS **500MHz** SSAs
  - 500MHz/150kW * 1
  - 500MHz/100kW * 5
  - 500MHz/260kW * 2
- 150kW SSA FAT in 05.2021





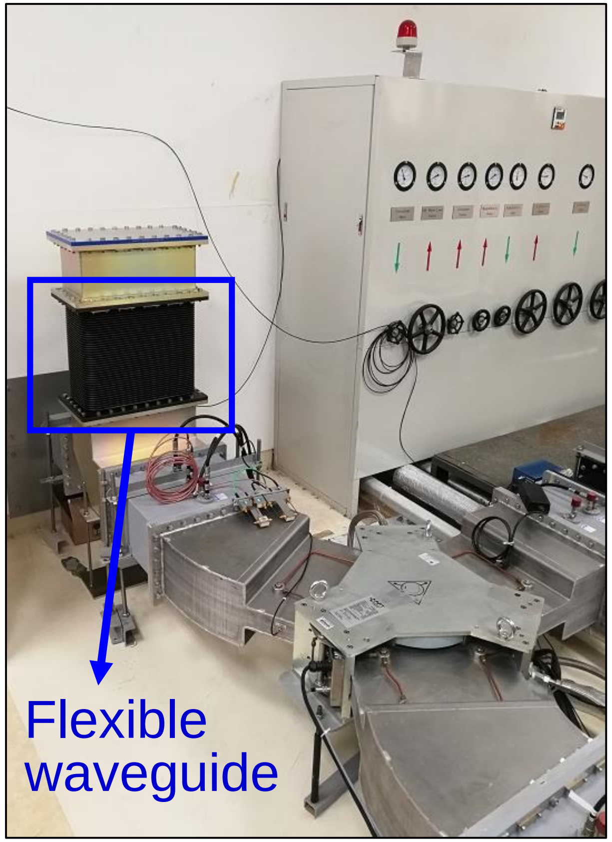
Development for HEPS



- HEPS **166MHz/260kW** SSA FAT in 05.2021

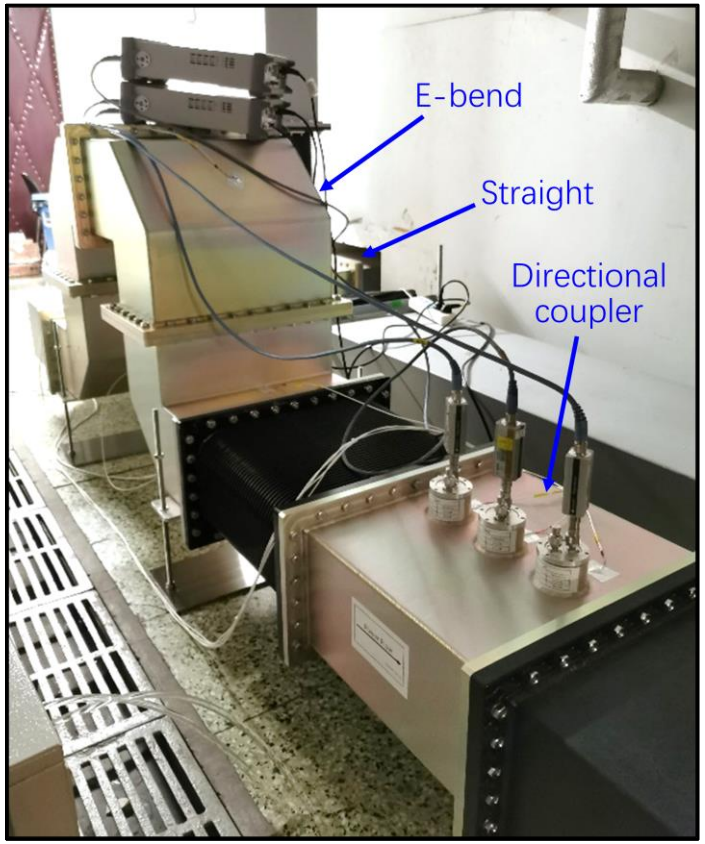
Domestically-made high-power RF components

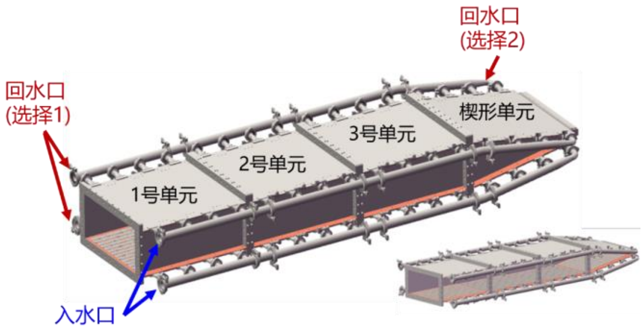
- Domestically-made high-power RF components passed essential tests
  - Coupler directivity: 48dB, flexible WG: VSWR<1.011
- High-power ferrite load under development (prototype ready in late 2021)



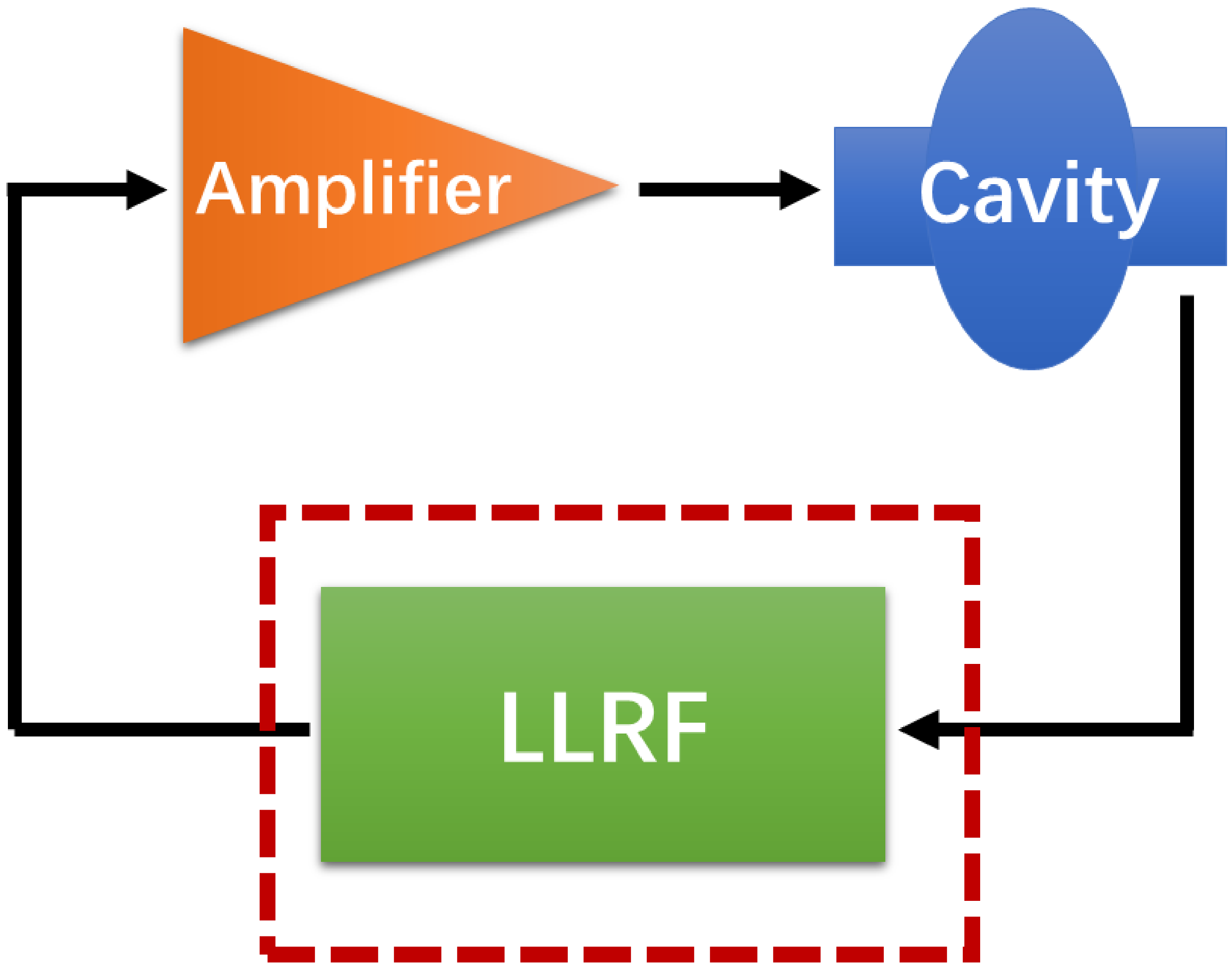
Flexible waveguide

Directional coupler





Task 3: RF control



Main parameters

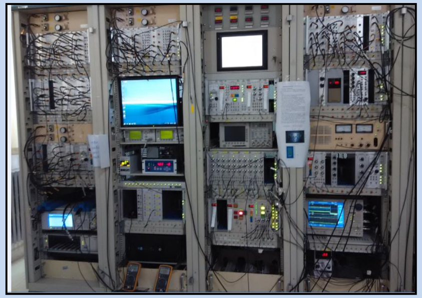
Parameter	Value
Technology choice	Digital low-level RF
Amplitude stability (pk-pk)	±0.5%
Phase stability (pk-pk)	±0.5 deg
Phase tuning range	0-720 deg

LLRF development at RF group

BEPCII

2005

2017



Analog LLRF

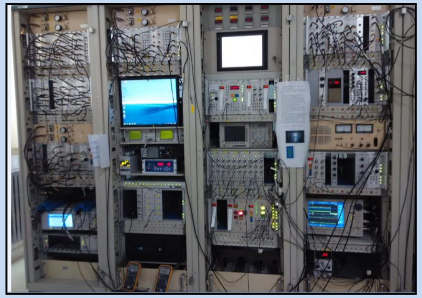
Digital LLRF

LLRF development at RF group

BEPCII

ADS

2005

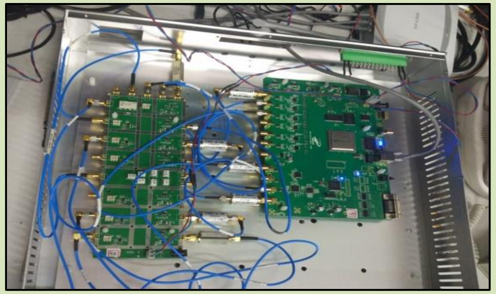


Analog LLRF

2017

Digital LLRF

2015



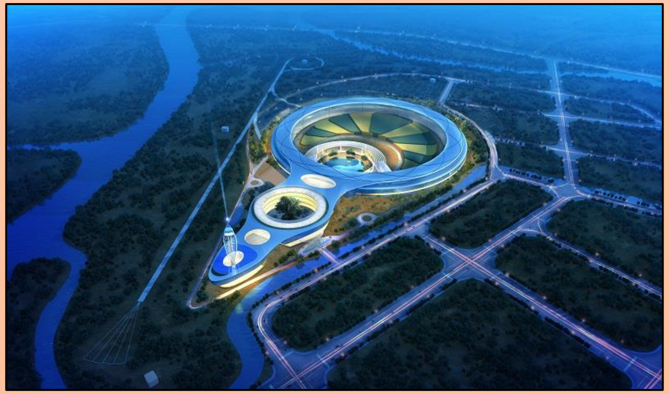
Customized

LLRF development at RF group

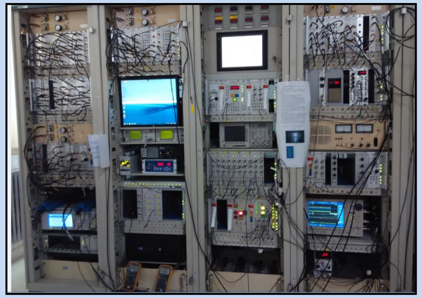
BEPCII

ADS

HEPS



2005

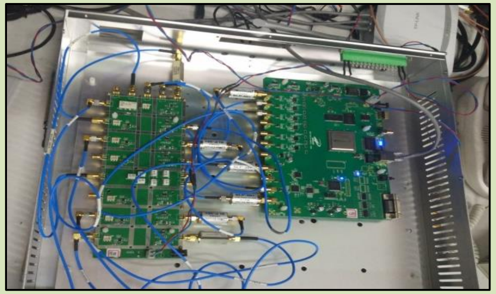


Analog LLRF

2017

Digital LLRF

2015



Customized

2017

CPCI

2019

Customized

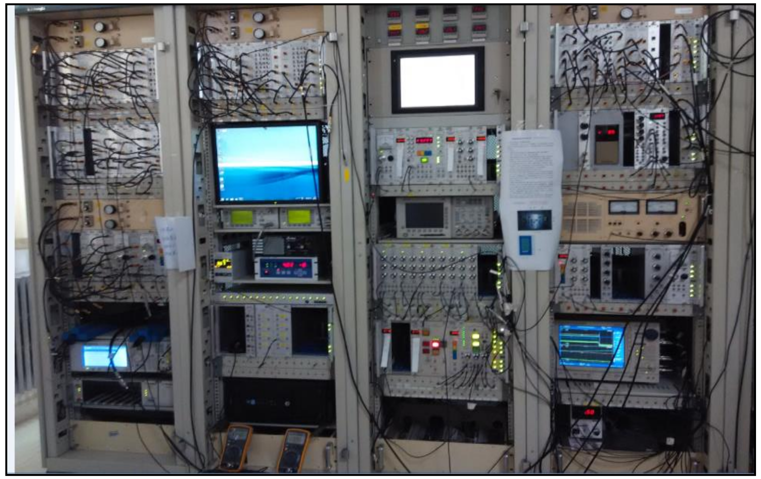
2021

Direct-sampling

500MHz LLRF

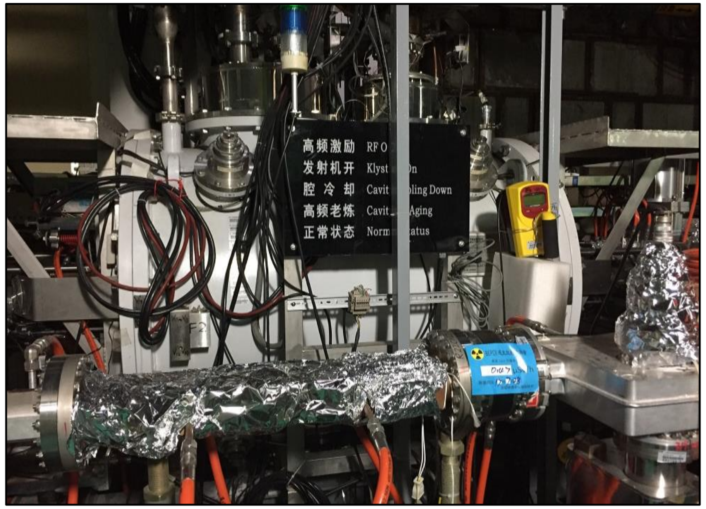
BEPCII

Analog LLRF (since 2005)

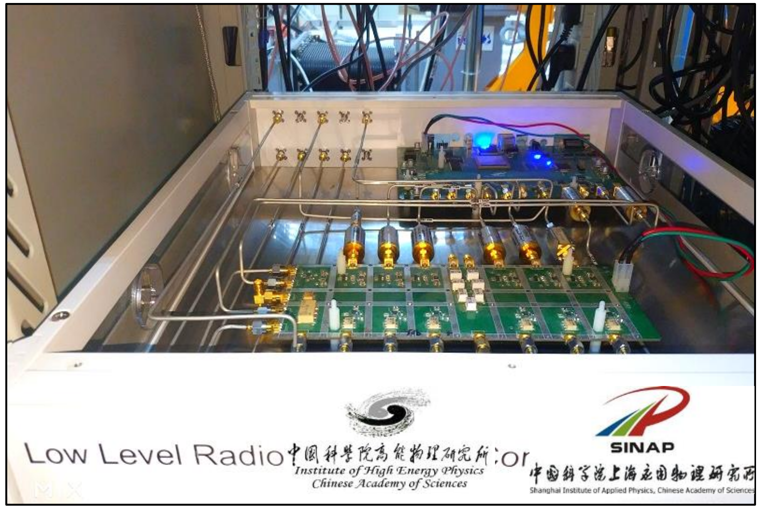


Digital LLRF R&D (2008)

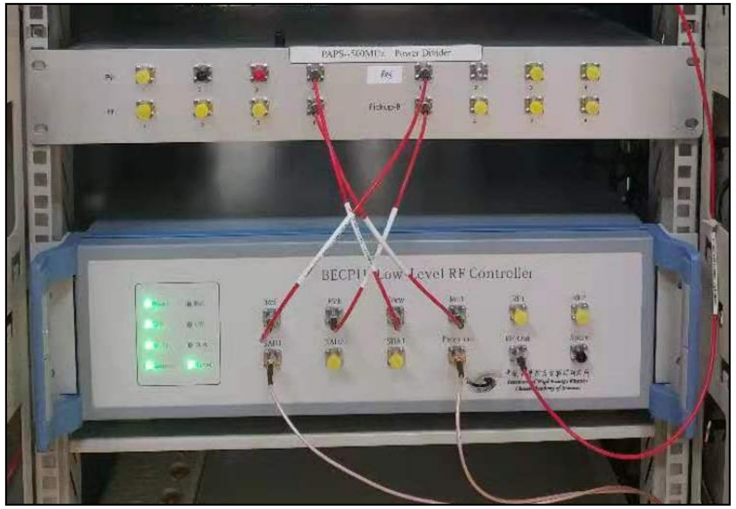
500MHz SRF cavity



Digital LLRF (2017)

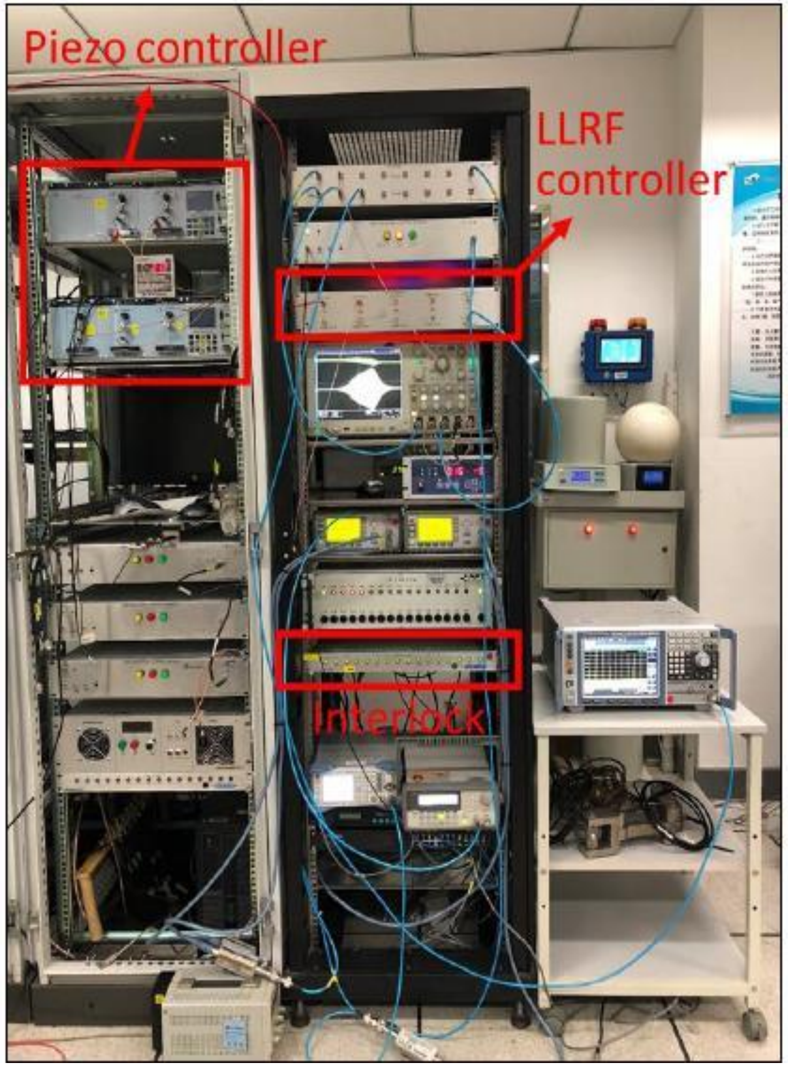


Digital LLRF (2019)

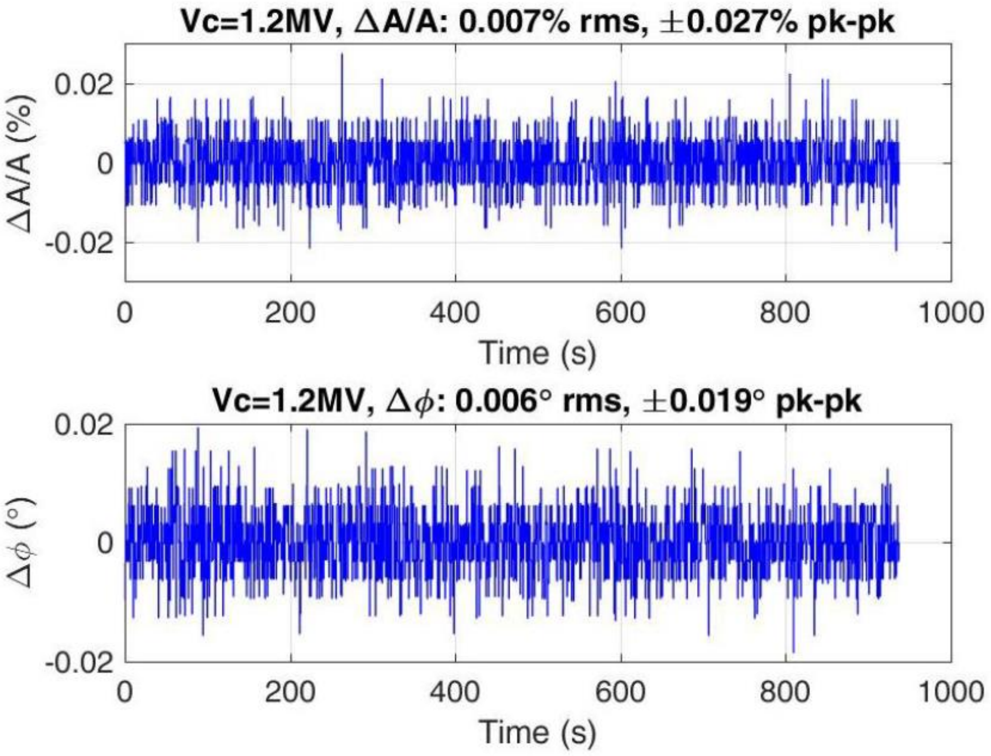


LLRF performance (166MHz)

- 166MHz LLRF system in-house developed

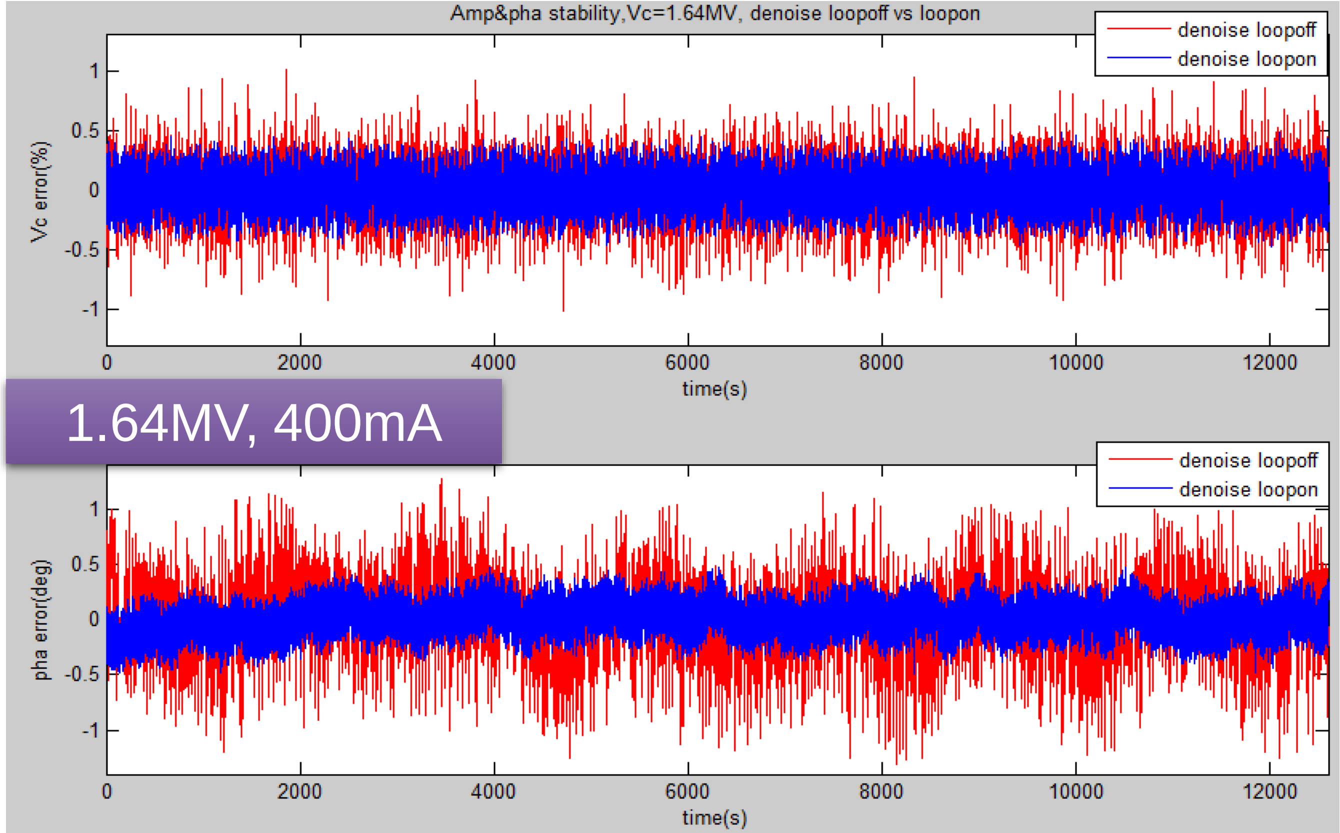


- Cavity horizontal test (1.2MV, 4.2K)
  - Amplitude: ±0.03%
  - Phase: ±0.02deg



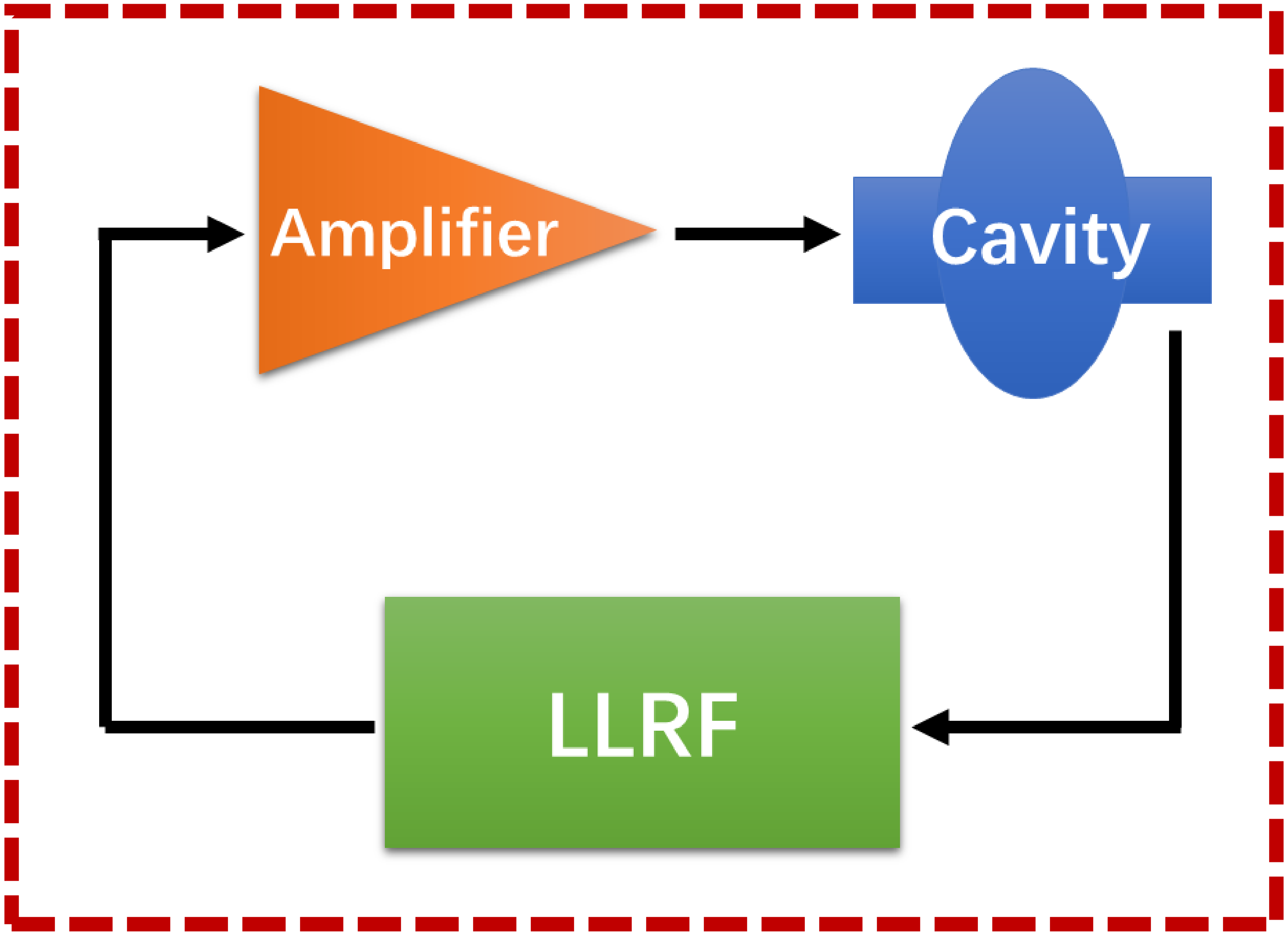
LLRF performance (500MHz, w/ beam)

- Beam operation since 2019
- Amplitude & phase stability deteriorated: ±1%, ±1deg
- Noise suppression loop recovered some performance: ±0.5%, ±0.5deg

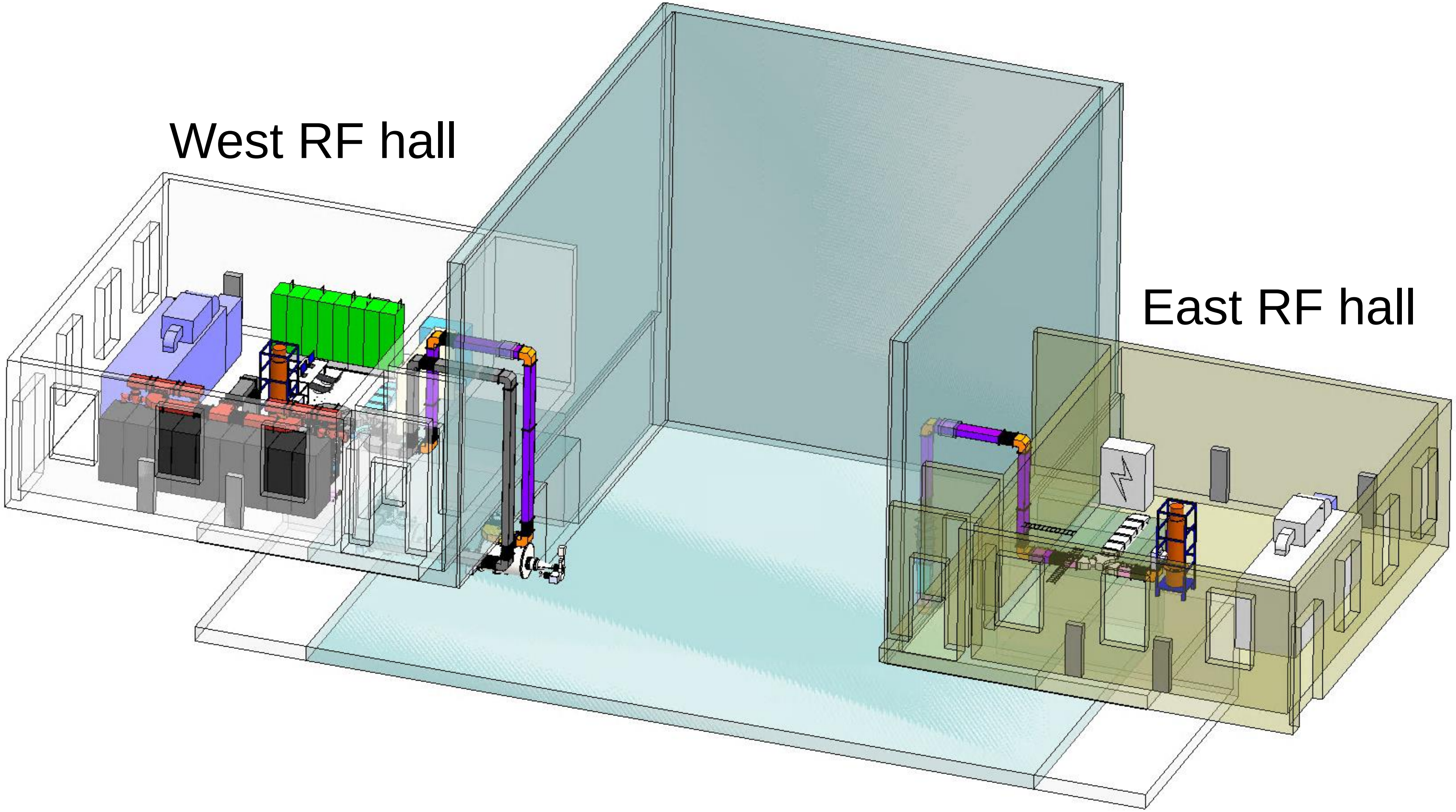


Q.Y. Wang, et al., in *Radiation Detection Technology and Methods* (2021), https://doi.org/10.1007/s41605-021-00244-x

Task 4: Integration

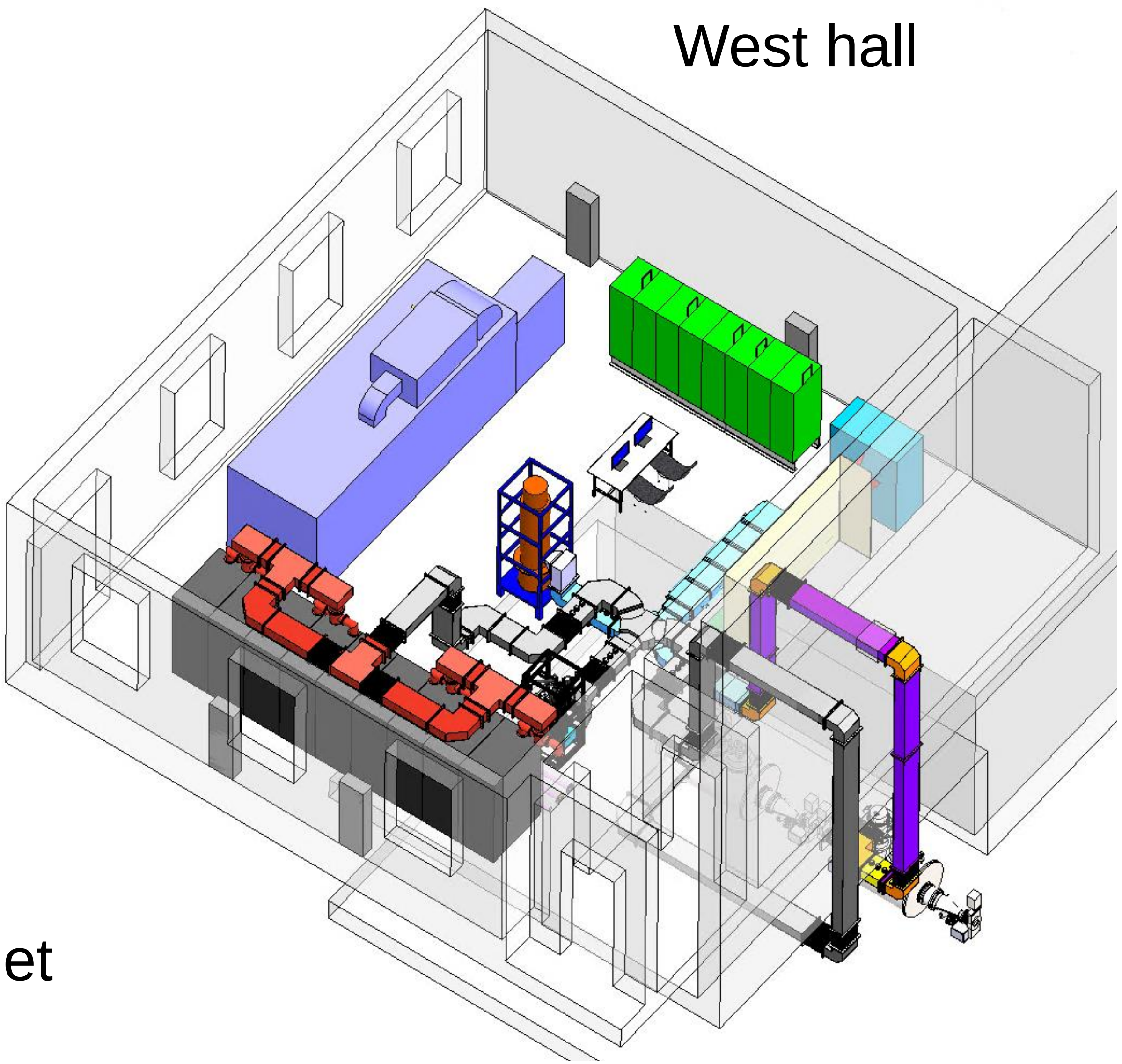


BEPCII RF halls

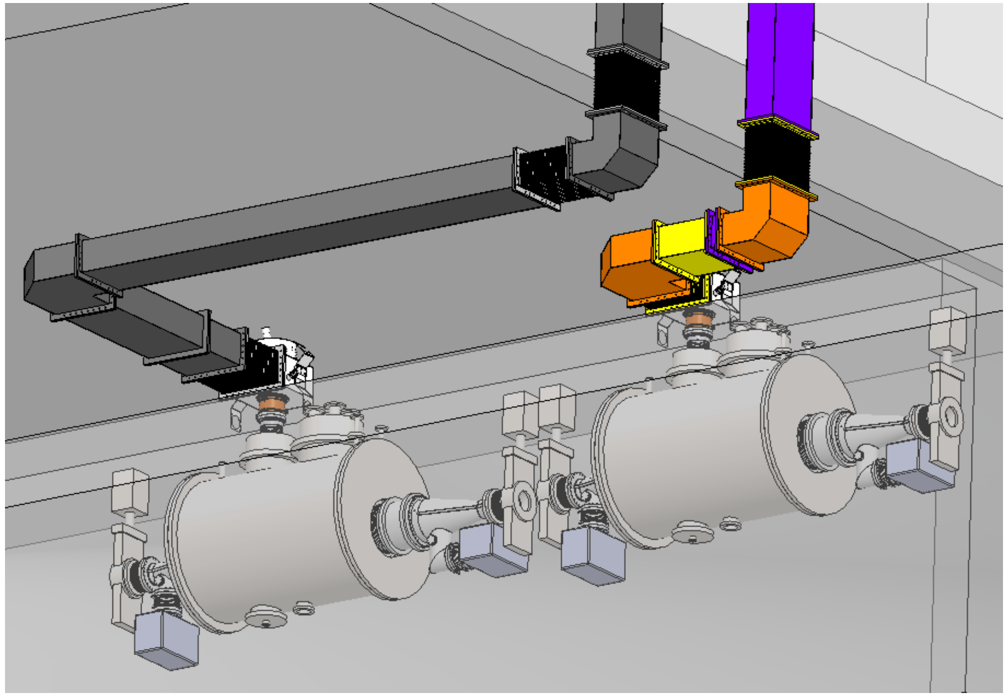


High-power RF system integration

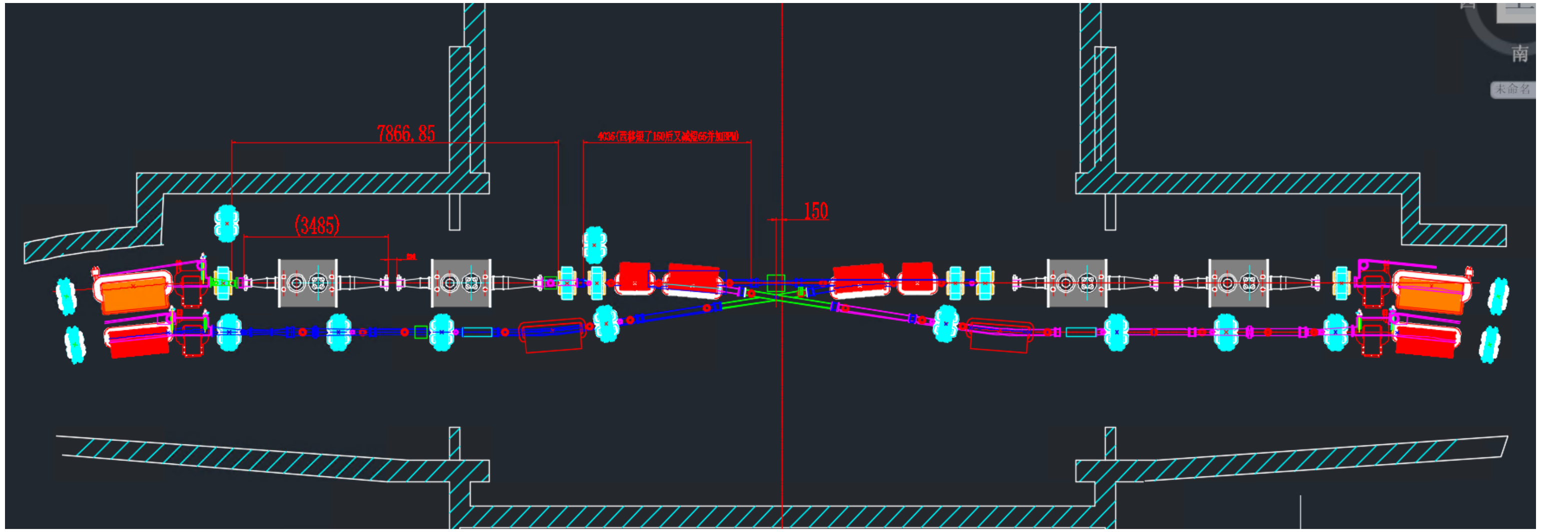
- **RF transmitter**
  - Keep the existing klystron and KSU
  - Add 200kW SSA (10 cabinets)
- **RF power distribution**
  - Keep existing circulator and load
  - Add new circulator and water load
  - Integrate SSA waveguide system to the existing RF distribution system
- **RF control**
  - Refurbish RF control system and layout
- **Utilities**
  - Upgrade electric power distribution cabinet
  - Upgrade cooling water distribution panel



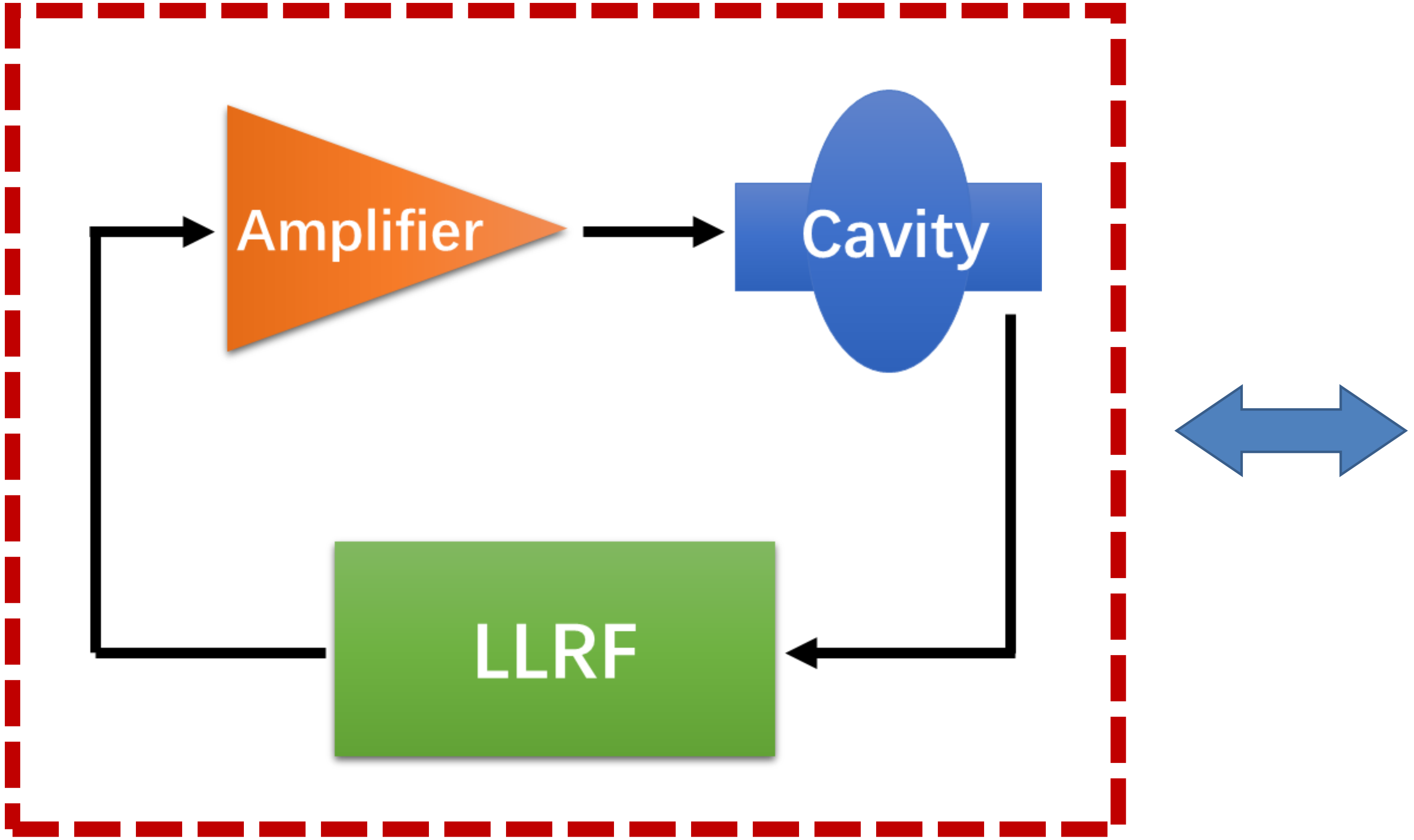
RF module integration in the tunnel



- **Limited RF straight section**
  - Inter-cavity space reduced
  - Cavity module length unchanged
  - Sync. light collimation to be checked
  - RF power distribution to be checked
  - Interference to be checked
  - Maintainability to be checked



Task 5: Interface



- Accelerator physics
- Cryogenics system
- Utility system
- Installation & alignment
- Vacuum system
- Mechanical system
- Control system
- Radiation protection
- …

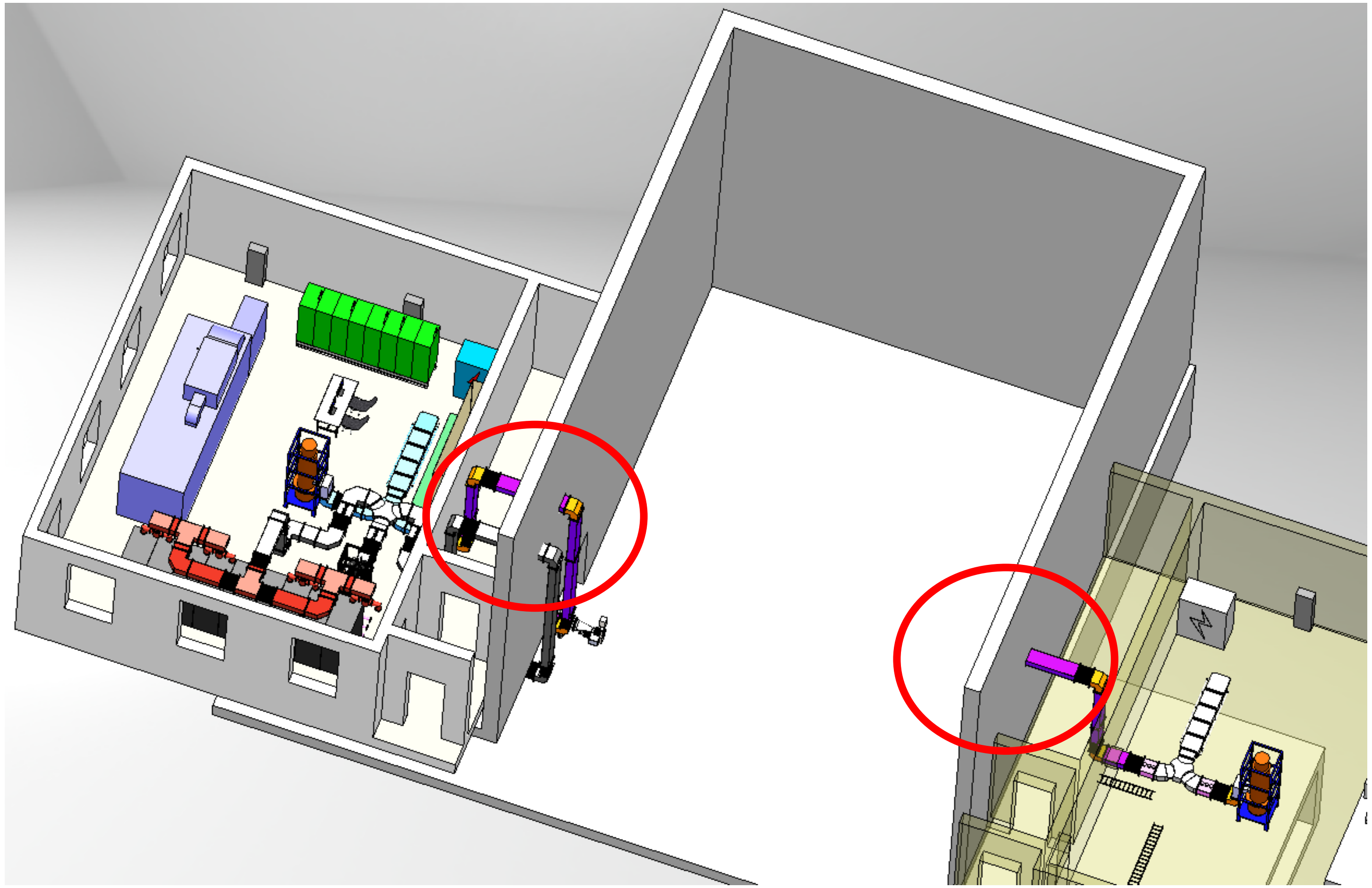
Utility system upgrade (RF related)

RF related	BEPCII	BEPC3
Electricity (kVA)	1200	2224
Cooling water (L/min)	1117	2925

More in Utility system talk by Yuelei Zhang.

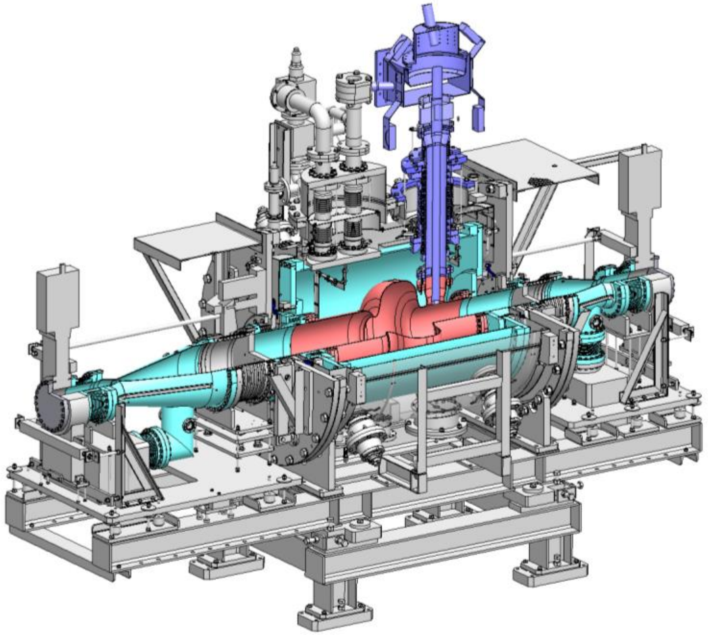
Radiation protection

- Added openings for the new RF system, radiation protection to be re-calculated



Cryogenics

- Close collaboration (RF and cryogenics system) on cryomodule development
- Upgraded cryogenics capabilities
  - 2 SRF cavities -> 4 SRF cavities
  - Heat load at 4.2K doubled



Control

- **Reference and timing system upgrade**

  - Higher signal quality: Coaxial cables -> Optical fibers

  - Add 2 more reference signal distribution lines

- **Interface to control**

  - RF interlock system

  - EPICS database

Risk and mitigation

- **Technology readiness**

  - Cavity: in-house developed module in beam operation for 3.5 years
  - SSA: prototype under development, lack of long-term operation experience
  - LLRF: in-house developed system in beam operation for 1.5 years

- **Schedule**

  - Insufficient vendor capacity for cavity & SSA (many projects in the next 5 years)
  - Highly overlap with HEPS, **prioritization required**

- **Resources**

  - Manpower (engineering staff) shortage

- **Logistics**

  - Module assembly in PAPS (Huairou), coordination of staff required
  - Reliable transportation of cavity modules to be demonstrated

RF parameters

Parameter	Unit	Existing	To be added
RF frequency	MHz	499.8	499.8
# of cavities	-	2	2
Cavity operating voltage	MV	1.6	1.75
Total RF voltage per ring	MV	1.6	3.3
Quality factor (operation)	-	5×10^8	1×10^9
Coupler Q_{ext}	-	2×10^5	2×10^5
Loaded bandwidth	kHz	2.5	2.5
RF power per cavity	kW	145	145
Transmitter power	kW	250*2	200*2
RF field stability (amp)(pk-pk)	-	$\pm$1%	$\pm$0.5%
RF field stability (phase)(pk-pk)	-	$\pm$1 deg	$\pm$0.5 deg

Summary

- BEPC3 RF system preliminary designed
- High level of technology readiness (BEPCII, HEPS)
- Tight schedule, highly overlap with HEPS, prioritization
- Manpower shortage, in particular, engineering staff