

Beamline Integration and Commissioning

Fang Liu

On behalf of the Beamline Endstation Engineering Division

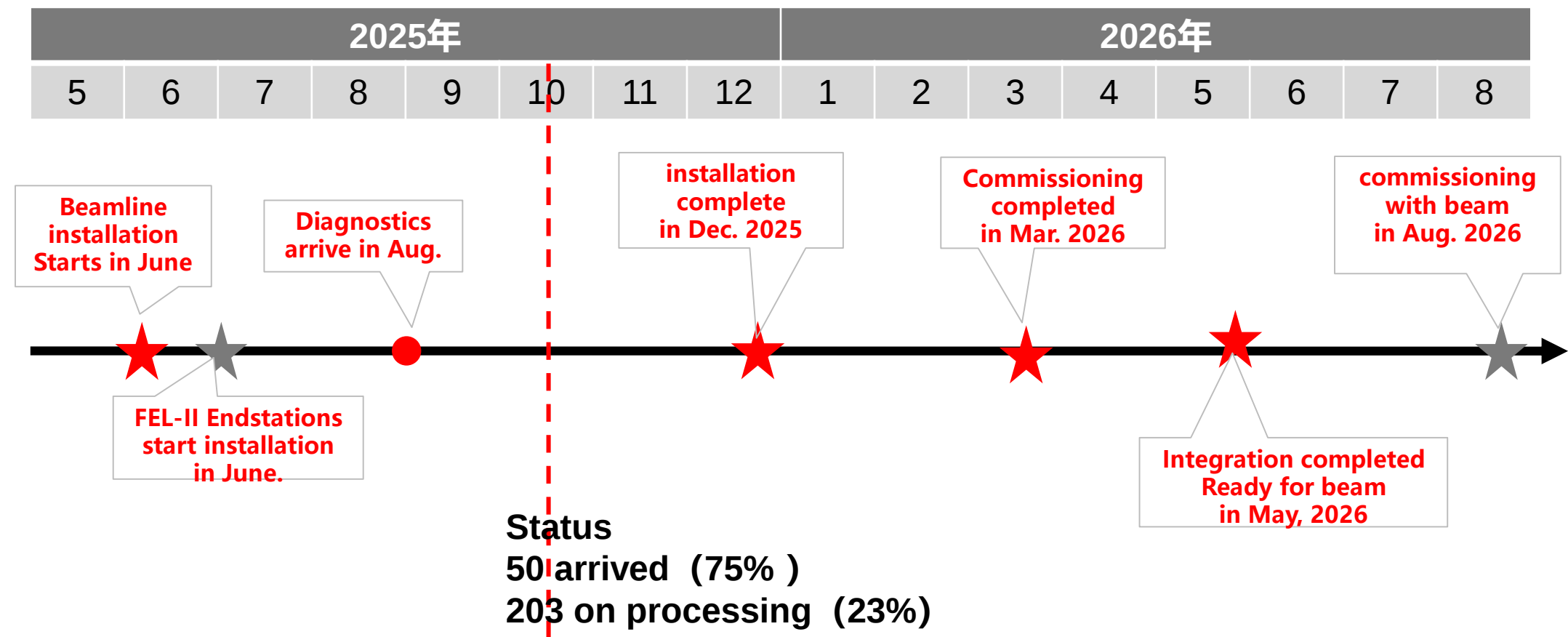
**Thursday, October 23,
2025**

Content

- ❑ **Beamline integration scope and schedule**
- ❑ **Infrastructure progress**
- ❑ **Installation, commissioning& integration process**

Beamline Integration Schedule

Beamline integration schedule



Components list and status

- ❑ All components listed in table with status and responsible person;
- ❑ First priority components marked

序号	束线段	位置	设备名称	设备负责人	状态	到货情况	离线装调	搬运上线	在线装调	束线集成	烘烤	进展
1	1#	83	★FE_固定光阑	吴帅	待上线	已到货	已完成	视三号井筒而定, 预计10月中旬				
2		83.62	★FE_Imager	朱化春	待上线	已到货	已完成					
3		84.28	★FE_器		待上线	已到货	已完成					
		85.1	★伽_器		待上线	已到货	已完成					
			★FE_束流SS		待上线	已到货						
	4#		加速器谱仪SPEC					计划	进行出厂	11月中	进场	
			Ir_1								11月18日	
			★固_1								11月18日	
											11月18日	
			GMD MPs1		待烘烤	已到货					9月23日	
	5#	120			离线测试	已到货	11月11日	11月11日	11月18日	11月18日	12月1日	已到货, 软线测试中。
12	5#	135			已完成	已到货	已完成	已完成		已完成	-	
13	7#	160	Collimator1	吕炯军	在线装调	已到货	已完成	已完成		8月18日	9月22日	
14		160.5	BLM1	刘海岗	在线装调	已到货	已完成	已完成	7月25日	8月18日	9月22日	计划本周完成在线装调
15		161.1	Imager2	朱化春	待集成	已到货	已完成	已完成	已完成	8月18日	9月22日	
16	8#	165	★M1	王楠	在线调试	已到货	已完成	已完成	9月1日	-	10月10日	上线后洁净处理, 镜体夹持测试
17	9#	166.1	Imager3	朱化春	待上线	已到货	已完成	11月3日	11月7日	11月24日	12月25日	待M2a上线后才能上线
18	10#	168	★M2a	王楠	已到货	已到货	10月31日	11月3日	11月24日	-	12月25日	全部到货, 计划本周开箱
19	11#	169.1	Imager4	朱化春	待上线	已到货	已完成	11月3日	11月7日	11月24日	12月25日	待M2b上线后才能上线
20	12#	172.05	★M2b	王楠	已到货	已到货	10月31日	11月3日	11月24日	-	12月25日	全部到货, 计划本周开箱

Components list and status

□ Different colors for warning

序号	束线 段	位置	设备名称	设备 负责人	状态	到货情况	离线装调	搬运上线	在线装调	束线集成	烘烤	进展
21	13#	173.17	Imager5	朱化春	待上线	已到货	已完成	7月10日	7月16日	11月24日	12月25日	待M2b上线后才能上线
22		176	Collimator2	吕炯军	待集成	已到货	已完成	已完成	已完成	11月24日	12月25日	
23	15#	195	BLM2	刘海岗	离线装调	已到货	7月9日	7月10日	7月15日	9月4日	10月13日	计划本周完成离线装调
24		195.6	Imager6	朱化春	待集成	已到货	已完成	已完成	已完成	9月4日	10月13日	
25		196	★ 入射光阑SA	吴帅	待集成	已到货	已完成	已完成	已完成	9月4日	10月13日	
26	16#	200	PGM	薛超凡	待装调	已到货	-	已完成	1月8日	1月9日	2月12日	
27	17#	203.16	出射光阑组件EA	吴帅	待上线	已到货	已完成	8月22日	8月27日	9月4日	10月13日	待PGM装调完毕再上线
28		207.4	Imager7	朱化春	待集成	已到货	已完成	已完成	已完成	9月4日	10月13日	
29	20#	267	★ M3	王楠	离线装调	已到货	11月7日	11月10日	11月30日	-	12月31日	
30	21#	270	Imager8	朱化春	待上线	已到货	已完成	7月24日	7月30日	8月18日	9月22日	计划本周上线
31	23#	297.27	挡光器1	吴帅	待烘烤	已到货	已完成	已完成	已完成	已完成	9月15日	
32		298	固体衰减器SAT	孙小沛	待烘烤	已到货	已完成	已完成	已完成	已完成	9月15日	
33	25#	311.2	BLM3	刘海岗	待上线	已到货	已完成	7月22日	7月25日	9月16日	10月20日	已具备上线条件
34		314	XGMD+HAMPs2	叶茂	未到货	9月22日	9月29日	9月30日	10月14日	10月14日	10月31日	
35		319.1	Slit2	赵高峰	未到货	8月20日	9月3日	9月4日	9月5日	9月16日	10月20日	返厂, 预计10月15日到
36	26#	323	Imager10	朱化春	待上线	已到货	已完成	7月24日	7月29日	8月6日	9月12日	已具备上线条件
37	28#	326	Imager11	朱化春	待上线	已到货	已完成	7月24日	7月30日	8月21日	9月29日	已具备上线条件
38	29#	340.2	Imager13	朱化春	未到货	11月3日	11月12日	11月13日	11月19日	11月27日	1月5日	

Components list and status

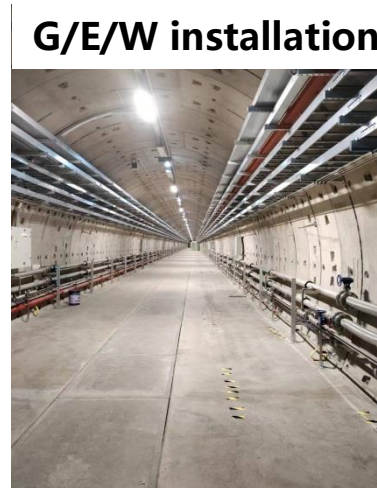
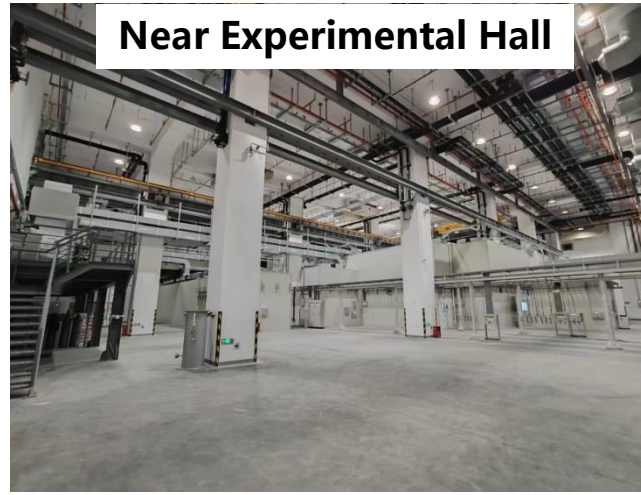
□ 57 Components in 40 sectors.

序号	束线段	位置	设备名称	设备负责人	状态	到货情况	离线装调	搬运上线	在线装调	束线集成	烘烤	进展
41	30#	343	★ KB-AMO	薛超凡	未到货	镜箱10月26日 压弯12月7日	镜箱11月11日 压弯12月20日	镜箱11月12日 压弯12月21日	12月31日	-	1月26日	
42		338.3	SES-WFS波前探测器	孟祥雨	未到货	腔体10月15日 电机12月15日	12月21日	12月22日	12月24日	12月27日	1月15日	
43		345.5	AMO-WFS波前探测器	孟祥雨	未到货	腔体11月15日 电机1月16日	1月21日	1月22日	1月24日	1月27日	2月15日	
44		328	SSS-WFS波前探测器	孟祥雨	未到货	腔体12月15日 电机2月26日	3月3日	3月4日	3月6日	3月9日	3月28日	
45	31#	348	★ Beamstop2	吴帅	待上线	已到货	已完成	8月22日	8月27日	9月4日	9月15日	已具备上线条件
46	33#	294.3	m_挡光器1	吴帅	待集成	已到货	已完成	已完成	已完成	9月19日	10月21日	
47		295	m_Exit Slit	赵高峰	在线装调	已到货	已完成	已完成	9月10日	9月19日	10月21日	
			能谱标定	于怀娜	离线装调	已到货	9月3日	9月4日	9月10日	9月19日	10月21日	
48		295.7	m_单色光能量分辨诊断	于怀娜	厂家维修	已到货	8月22日	8月25日	8月29日	9月19日	10月21日	
49	35#	311.2	m_BLM3	刘海岗	待上线	已到货	已完成	待定	待定	待定	待定	已具备上线条件
50		313.6	m_HAMPs3	叶茂	未到货	9月22日	9月25日	9月26日	10月3日	10月14日	11月17日	
51		321.7	m_Imager10	朱化春	离线装调	已到货	已完成	8月7日	8月13日	10月14日	11月17日	已具备上线条件
52	36#	323	KB-SSS	薛超凡	未到货	11月15日	11月24日	11月30日	12月7日	-	1月12日	
53	38#	330.8	★ KB-SES	薛超凡	未到货	12月24日	1月6日	1月7日	1月10日	-	2月11日	
54	39#	333.4	M_挡光器2	吴帅	待集成	已到货	已完成	已完成	已完成	9月12日	10月13日	
55		334.3	m_PAM2	姜甲明	未到货	10月30日	-	11月8日	11月15日	-	11月30日	
56		335	m_Imager12	朱化春	在线装调	已到货	已完成	已完成	8月13日	9月11日	10月13日	
57	40#	342.4	m_Beamstop1	吴帅	待上线	已到货	已完成	随实验站进度安装调试				

Infrastructure Progress

Constructions

- ❑ Experimental hutches completed
- ❑ Gas, Electricity & Water system completed in T34.
- ❑ Cleanroom of ISO 6 for installation completed.
- ❑ Gas supplement in Exp. Completed.
- ❑ Gas supply control room for T34 completed.



Exp. hutch temperature stabilization

- Experimental hutch environment acceptance test completed by third party in June.

- Temperature at SSS is $24 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$
- Temperature gradient is $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$



南京市计量监督检测院
Nanjing Institute of Metrological Supervision and Testing

校准证书
CALIBRATION CERTIFICATE

证书编号 第 01830535-001 号
Certificate No

委托者 上海科技大学
Customer

委托者地址 /
Addressee

样品名称 上海科技大学硬X射线自由电子激光装置-四号工作井实验站环境控制系统
Description of Sample

制造厂商 /
Manufacturer

型号/规格 /
Model/Specification

样品编号 /设备编号:/
Number of Sample

受样日期 2025 - 06 - 16
Date of Sampling

校准日期 2025 - 06 - 16
Date of this Calibration

证书批准人 季红梅 校准人职务 生物计量中心主任
Approved by Position

校准员 朱杰 朱慧
Calibrated by

证书发布日期 2025 年 06 月 16 日
Date of publishing

未经许可，部分复制本证书内容无效，本证书加盖校准专用章有效。
This report shall not be partial reproduced without permission, and will be invalid without officer stamp.

计量检定机构授权证书号：(苏)法计〔2023〕10091号
Authorization certificate No. (2023) 10091

地址：南京市栖霞区仙林大道10号
Add: NO.10 Xianlin Road, Qixia District, Nanjing

电子邮箱：njsjly@njsjly.com
E-mail

业务咨询：025-85410283
Tel. for inquire about

业务(投诉)电话：025-86735511
Tel. for complaints

邮编：210049
Post Code

第 1 页共 3 页
page of

检测区域	照度 (lx)	噪声 (dB(A))	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	湿度 (%RH)	截面风速 (约1.2米处) (m/s)
SSS间	485	49.5	24.0	52	0.16
IEB间	455	48.9	24.2	53	0.15
SES间	472	50.1	24.1	52	0.17
HSS右间	429	49.2	24.3	53	0.14
HSS左间	438	48.7	23.9	48	0.16
HXS右间	/	48.5	24.0	49	0.15
HXS左间	/	47.8	24.1	52	0.16

上层

1	4	
2	5	7
3	6	8

中层

9	12	
10	13	15
11	14	16

下层

17	20	
18	21	23
19	22	24

校准参数	温度/ $^{\circ}\text{C}$	湿度/%RH
设定值	24.0	50
上偏差	0.3	3.7
下偏差	-0.2	0.2
波动度	± 0.1	± 1.3
均匀度	0.4	1.8
扩展不确定度 $U(k=2)$	0.2	1.5

备注：根据客户要求，提供以下校准结果

校准项目	校准结果
上层（1、2、3、4、5、6、7、8；距地面4m处）温度平均值（ $^{\circ}\text{C}$ ）	24.2
中层（9、10、11、12、13、14、15、16；距地面2.5m处）温度平	24.1
下层（17、18、19、20、21、22、23、24；距地面1m处）温度平	24.0
左侧（1、2、3、9、10、11、17、18、19）温度平均值（ $^{\circ}\text{C}$ ）	24.1
右侧（4、5、6、7、8、12、13、14、15、16、20、21、22、23、24）温度平均值（ $^{\circ}\text{C}$ ）	24.1

各测量点平均温度	1	2	3	4
结果（ $^{\circ}\text{C}$ ）	24.2	24.2	24.2	24.2
各测量点平均温度	5	6	7	8
结果（ $^{\circ}\text{C}$ ）	24.2	24.2	24.2	24.2
各测量点平均温度	9	10	11	12
结果（ $^{\circ}\text{C}$ ）	24.1	24.2	24.1	24.1
各测量点平均温度	13	14	15	16
结果（ $^{\circ}\text{C}$ ）	24.1	24.1	24.1	24.1
各测量点平均温度	17	18	19	20
结果（ $^{\circ}\text{C}$ ）	23.9	24.0	24.0	24.0
各测量点平均温度	21	22	23	24
结果（ $^{\circ}\text{C}$ ）	23.9	23.9	23.9	23.9

SSS temperature stabilization results

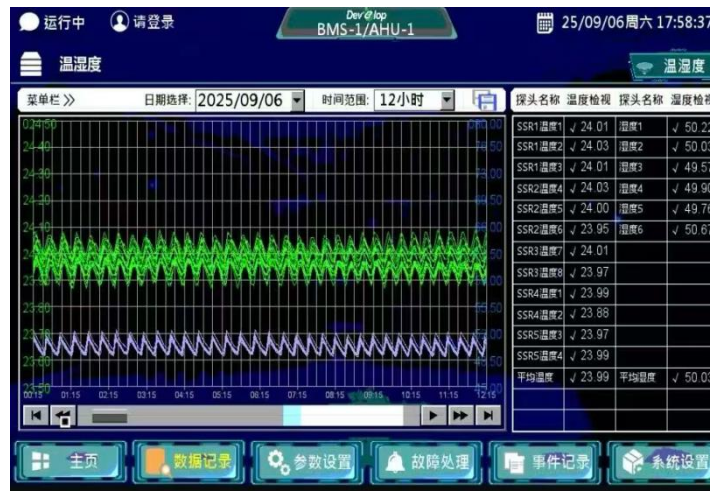
Real time display



Temperature deviation in 1 hours



Temperature deviation in 12 hours



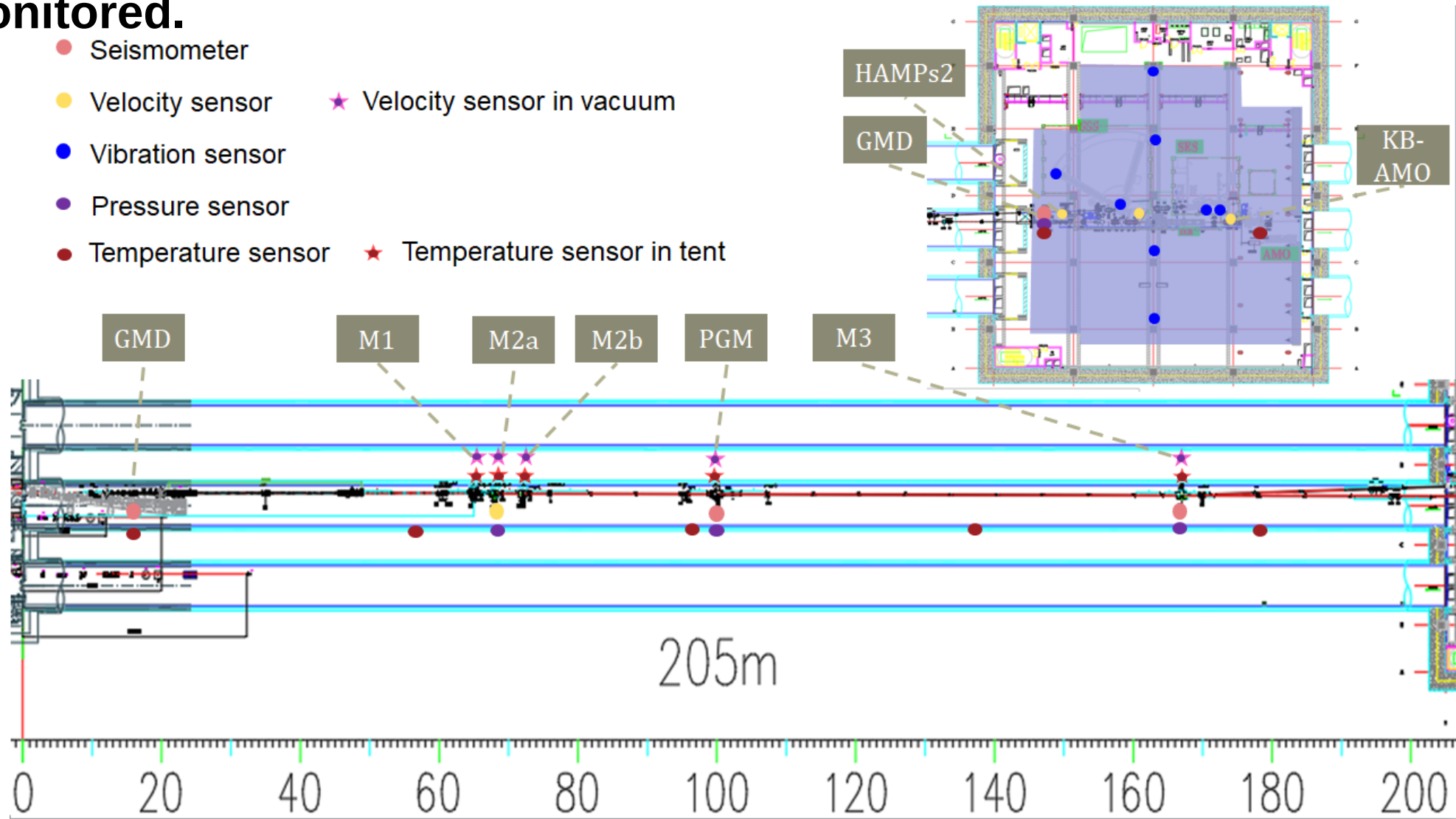
Temperature deviation in 24 hours



Environmental parameter monitoring

- Vibration, temperature and pressure along beamline transportation is monitored.

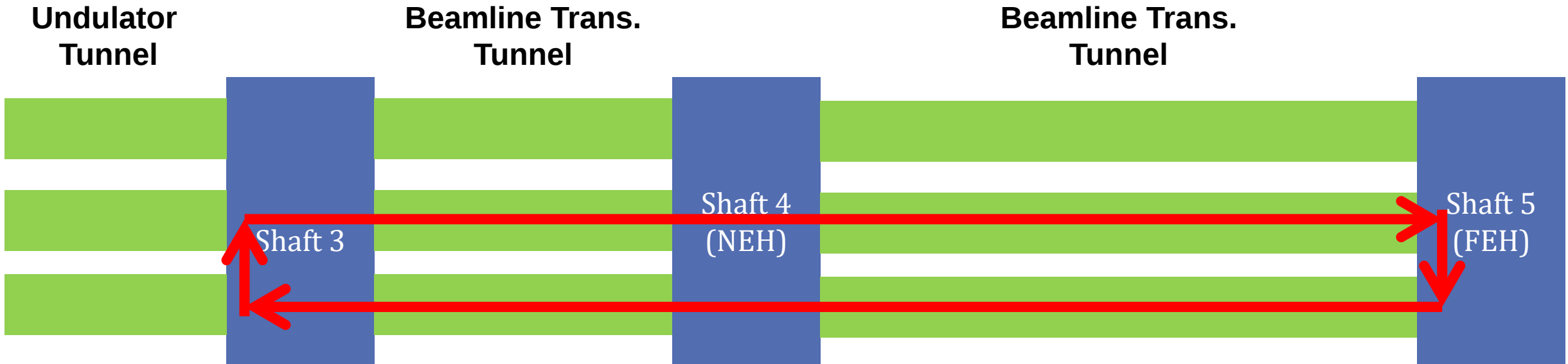
- Seismometer
- Velocity sensor ★ Velocity sensor in vacuum
- Vibration sensor
- Pressure sensor
- Temperature sensor ★ Temperature sensor in tent



Survey and alignment support

□ Reference network completed.

- ◆ **2.2km closed-loop measurement of reference network completed:** covering 100m of the undulator tunnel, starting from shaft 3 in the central tunnel, passing through shaft 4(NEH), returning from Shaft 5(FEH), finally ends at Shaft 3 on the west tunnel, forming a large closed-loop.
- ◆ **Precision of whole beamline reference network is better than 3mm.**



Clean rooms for Inst. and Comm.

❑ Particle free control (ISO 6)

- **Cleanroom Standards**

Maintain ISO Class 6 or better level in optical areas using HEPA/ULPA filters with $\geq 99.999\%$ efficiency.

- **Process Flow**

Strictly enforce technical specifications prior to delivery.

Control and monitor all stages such as disassembly upon arrival, installation, and commissioning.



Online clean rooms

- Located in the T34.
- Zoned partitions
- Semi-fixed clean booth
- Mobile clean booth

Photon vacuum system

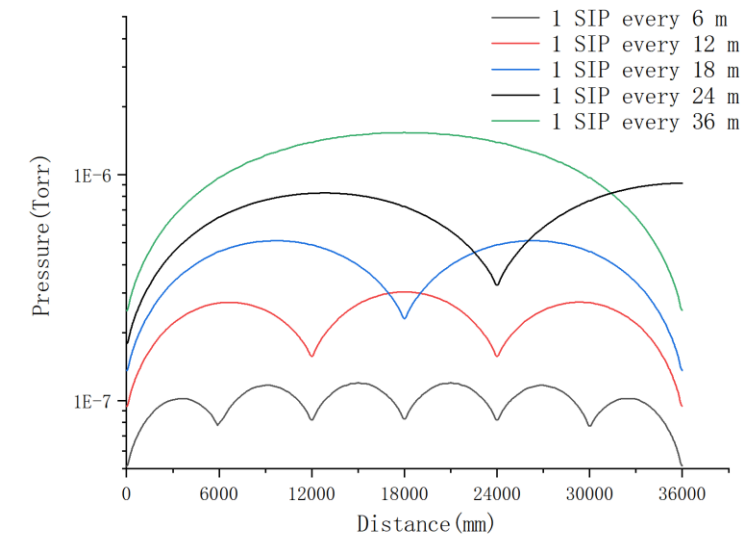
□ Photon vacuum system requirement

- Beam transport: almost 1.5 km for 2 beamlines
- Average vacuum Pressure: 10^{-7} Torr (Mirror chamber below 1×10^{-9} Torr)
- Vacuum interlock:
 - Fast closing shutter & UHV valve to prevent venting the entire system
 - UHV valve to prevent vacuum leak spreading

□ Technical Policies on integration

- At least one sputter ion pump of 75L/s per section: every 12 m-24 m
- One set of gauge per section: pirani and cold cathode;
- Large pumping speed of 500L/s sputter ion pump and 1000-2000L/s NEG pumps for mirror chamber
- Hydrocarbon-free: mass 45 to 100 less than 0.1% of total pressure (or below 1×10^{-11} Torr)
- Venting and roughing port: DN16 and DN 40, respectively

Pump configuration analysis



design outgassing rate 2×10^{-10} Torr.l/s.cm²

Installation, Commissioning & Integration Progress



M1 commissioning



□ Vacuum & Particle control

□ Functionality test

□ Transportation to site



M1-Vacuum control

Ultrasonic cleaning

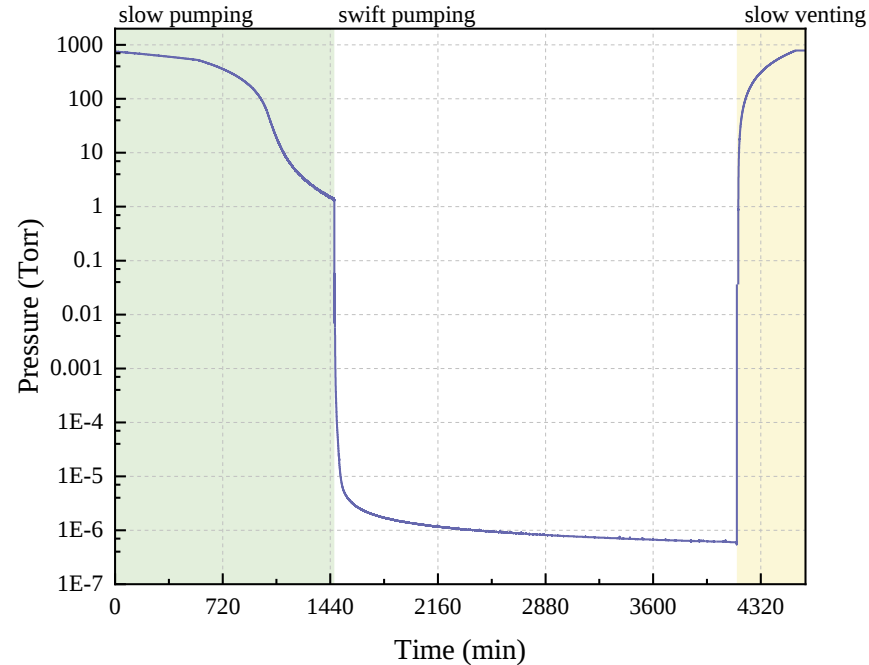
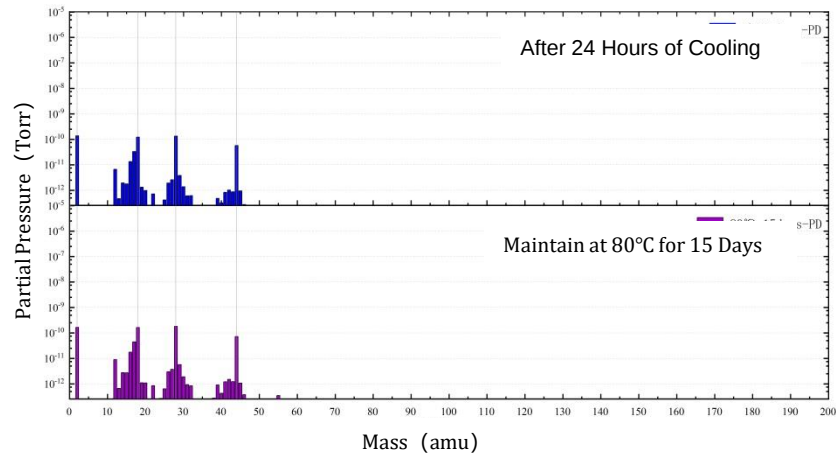
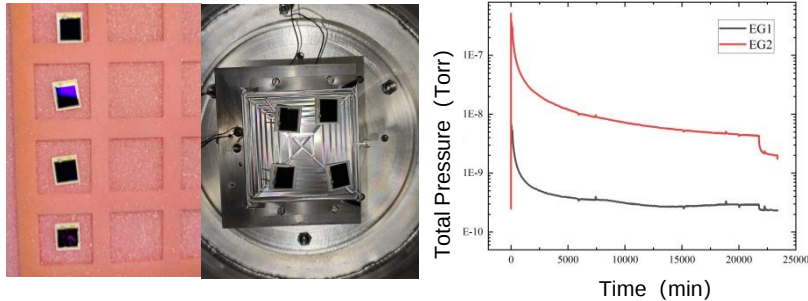


RGA test



Hydrocarbon free control on parts

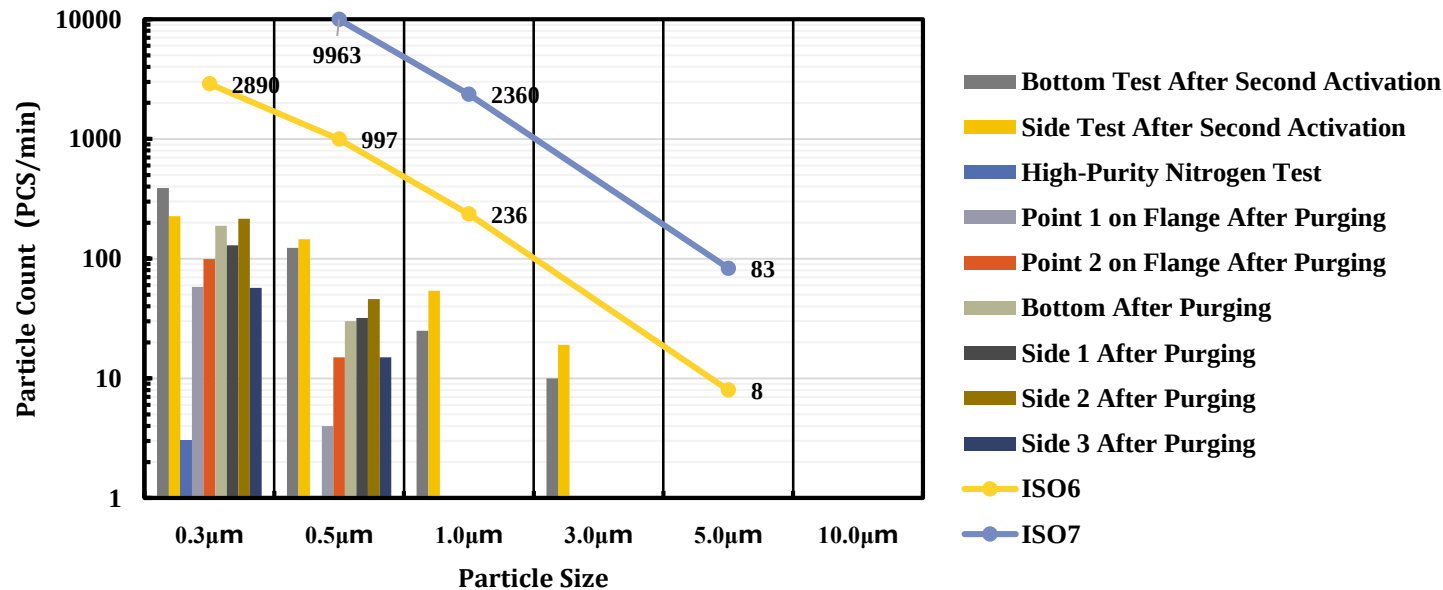
- visual inspection
- proper cleaning
- outgassing rate & RGA test
- partial pressure of mass 45 to 100 should not exceed 1×10^{-11} Torr.
- Slow pumping & venting process for M1 chamber



M1-Vacuum control

- ❑ Pretreatment & detection
- ❑ All components cleaning or purging treatment
- ❑ Particle detection for every process
- ❑ Non-evaporable getters pre-activation treatment

After two activations, no 5 μ m particles were detected



M1-motion control

- ❑ New developed control system is fully operational and ready for both offline debugging and online installation for FEL-II.
 - Four types of stepper motor drivers with modular design(STMC series).
 - Three types of controllers integrated with drive and control(SPD/SMD series).



STMC-16

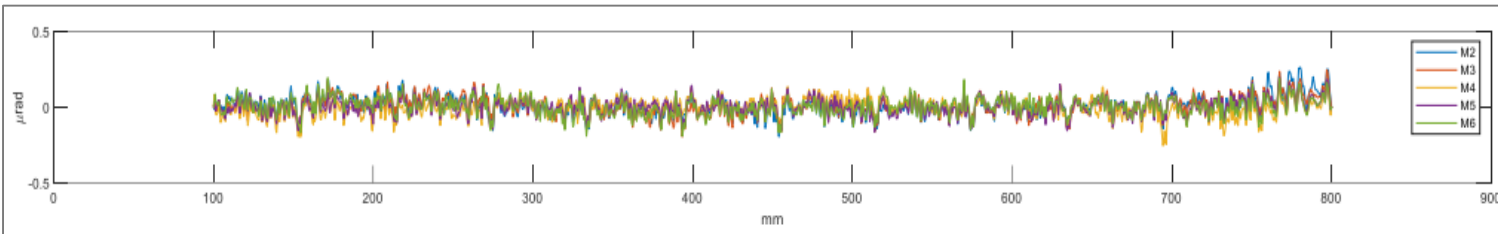
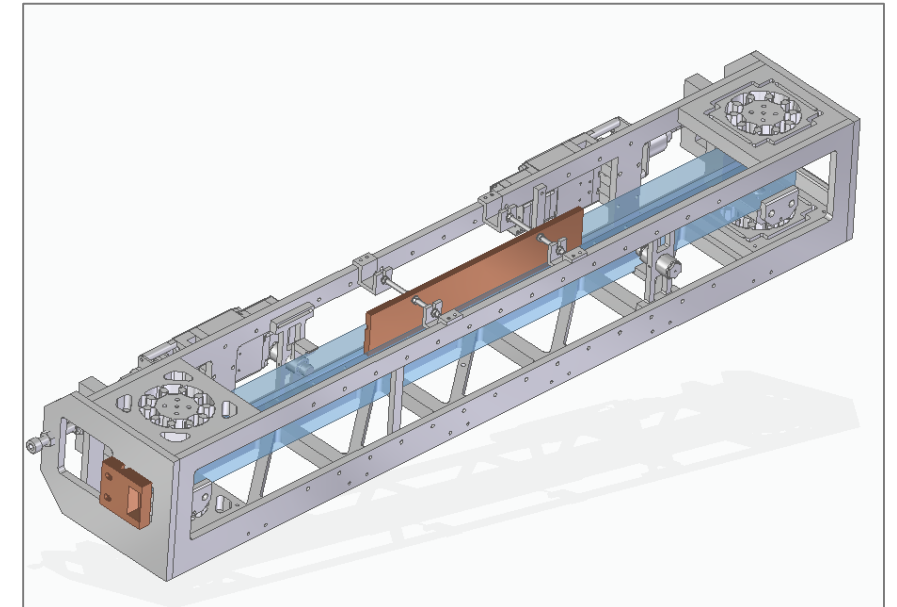
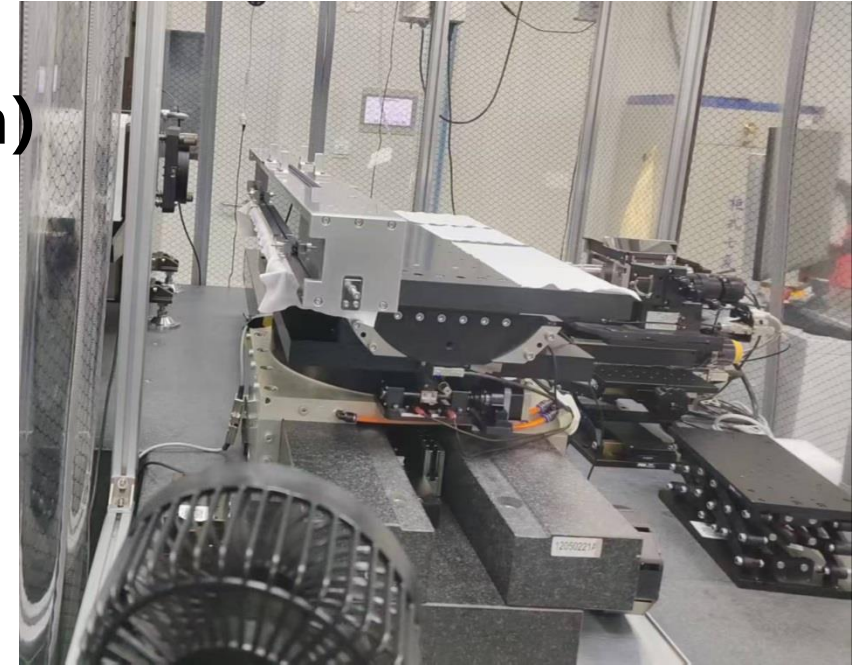


SPD/SMD

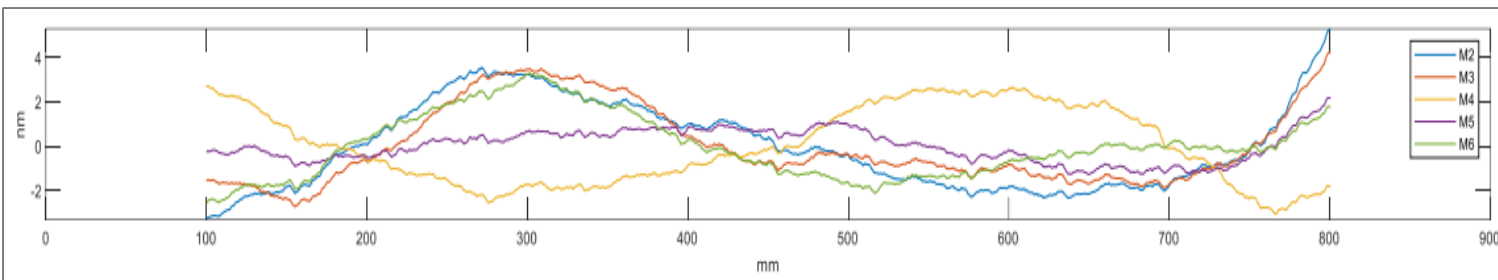
M1 commissioning--bender

❑ 60nrad and 1.74nm respectively (@80km/700mm)

- 2 actuators with the width optimization and twist adjustment
- U-shaped clamping with flexible hinge bending axis for better rotation accuracy and overall rigidity
- In/Ga non-contact stress cooling mechanism



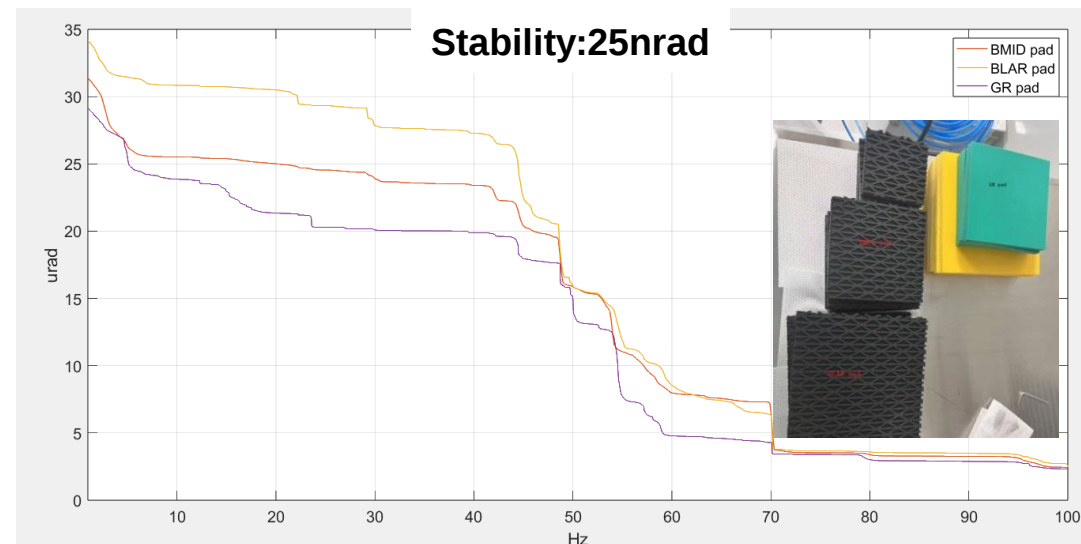
Residual slope profile



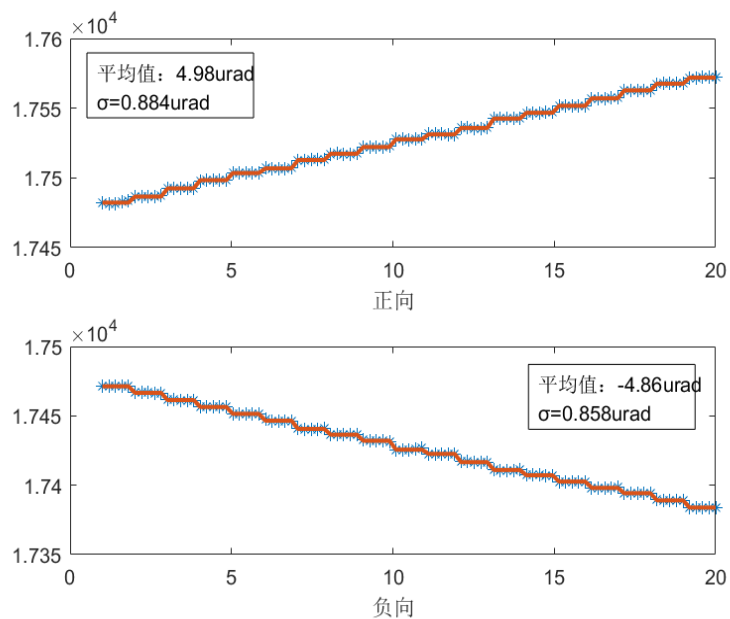
Residual height profile

M1 functionality test

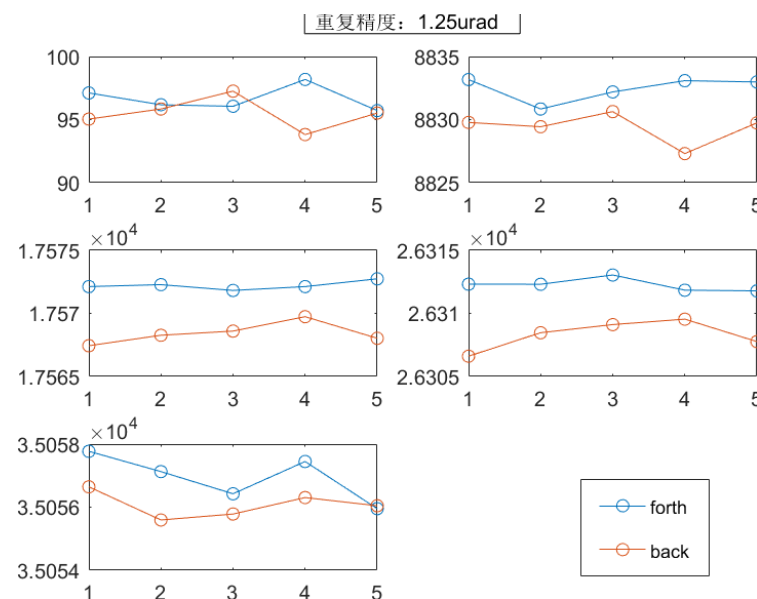
- Range: $\pm 20\text{urad}$
- Coarse pitch resolution: 5urad
- Fine pitch resolution: 43nrad
- Pitch stability: 25nrad



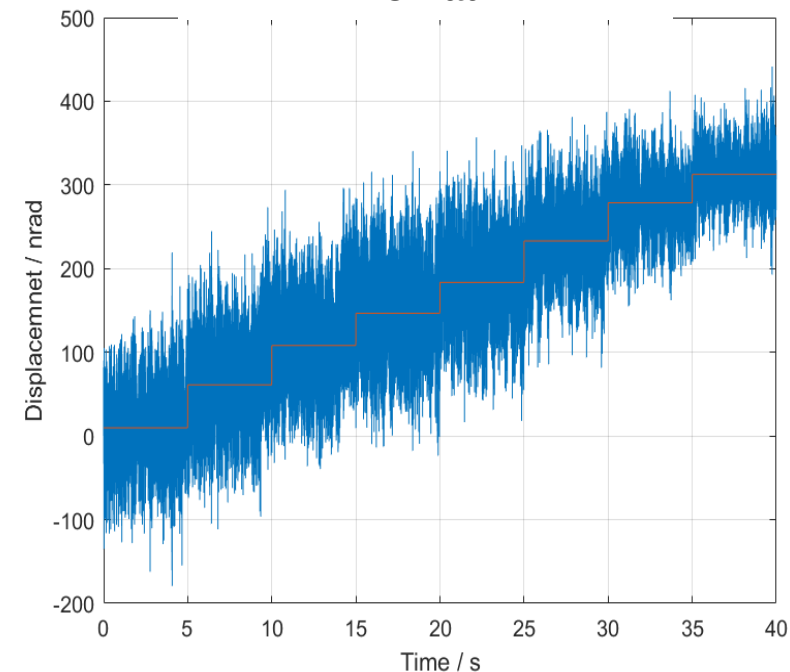
Coarse pitch resolution
 5urad



Coarse pitch repitability
 1.25urad

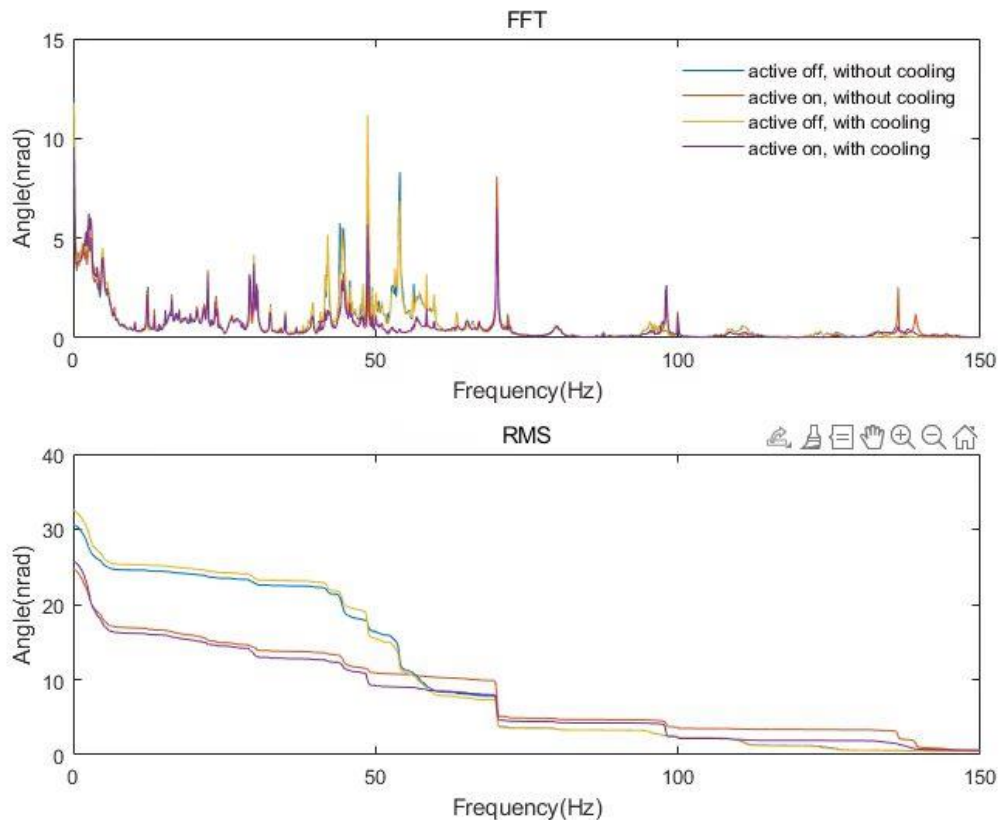


Fine pitch resolution
 43nrad

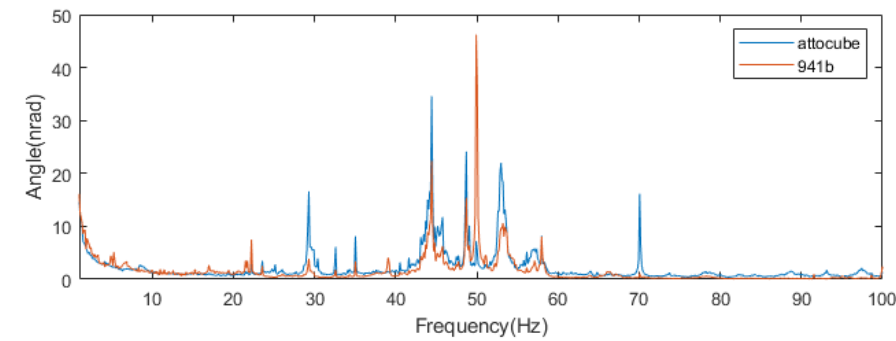


M1 Commissioning-Problems

- Active damping improves stability with geophones as feedback signal, but does not work with laser interferometer as feedback signal;
- Use UHV geophones as feedback signals after vacuum compatible validation;



Geophone & interferometer seems compatible



M1 transportation to site



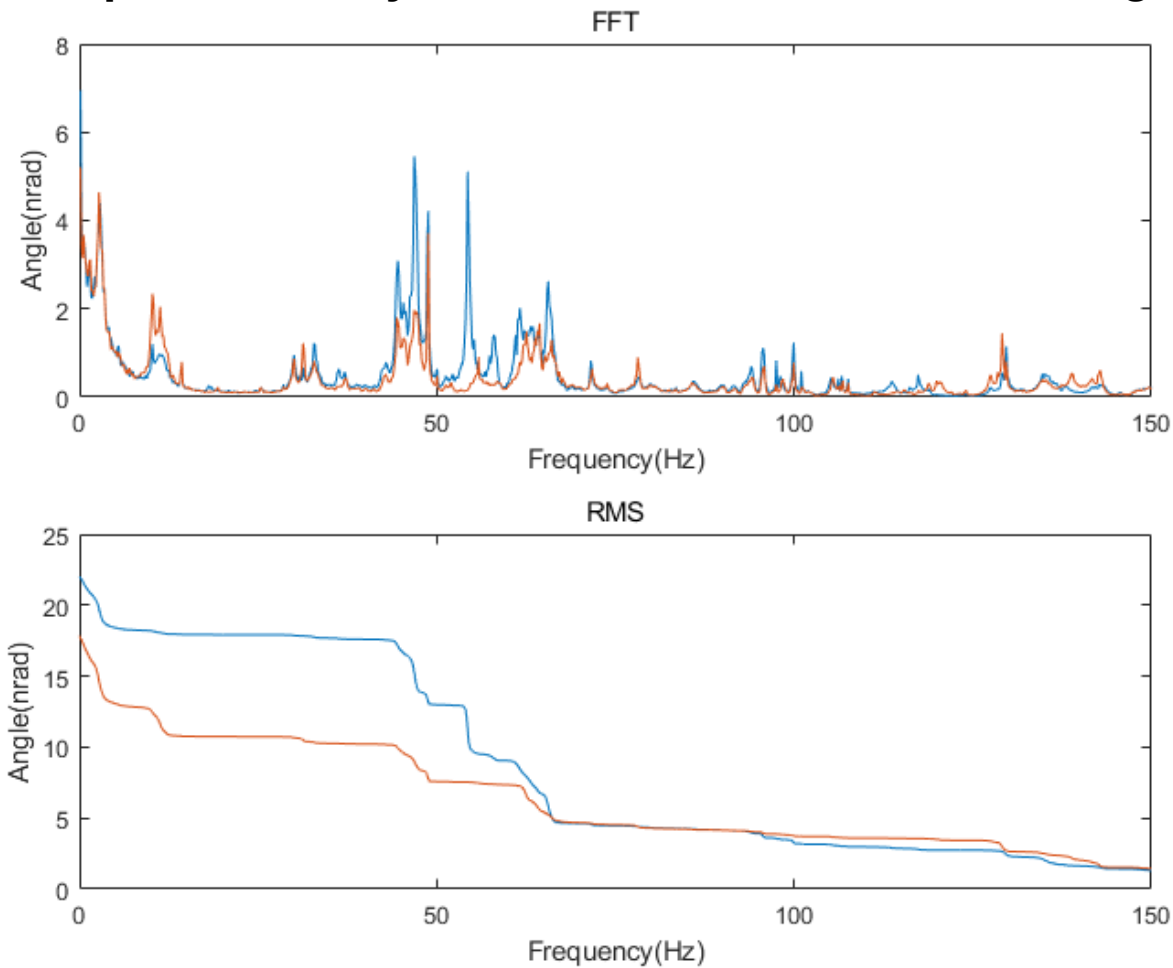
M1 on site in the clean room

Local clean room for M1 installation

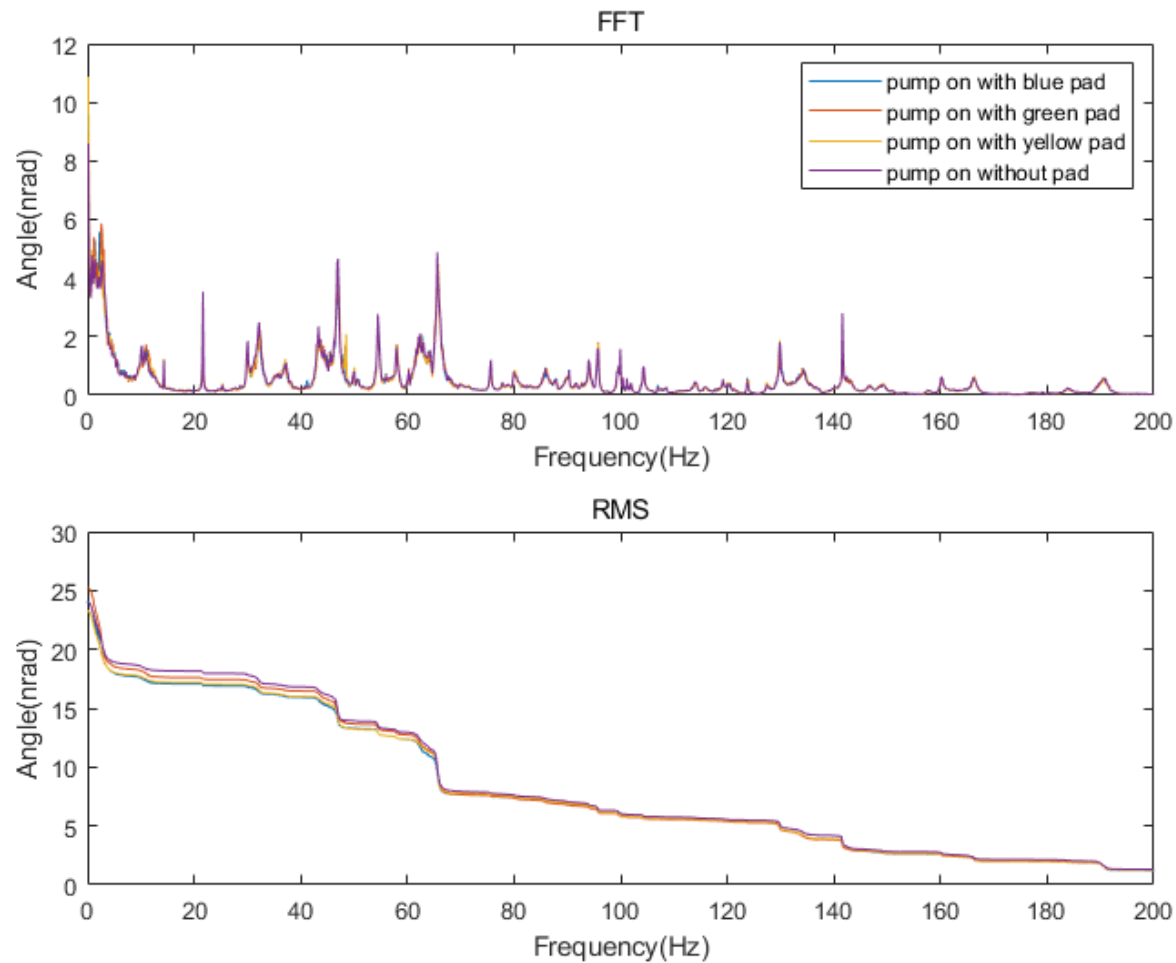


M1 on site commissioning

M1 pitch stability is less than 20nrad with cooling



Pumps at GAT has limited effects on M1 mirror

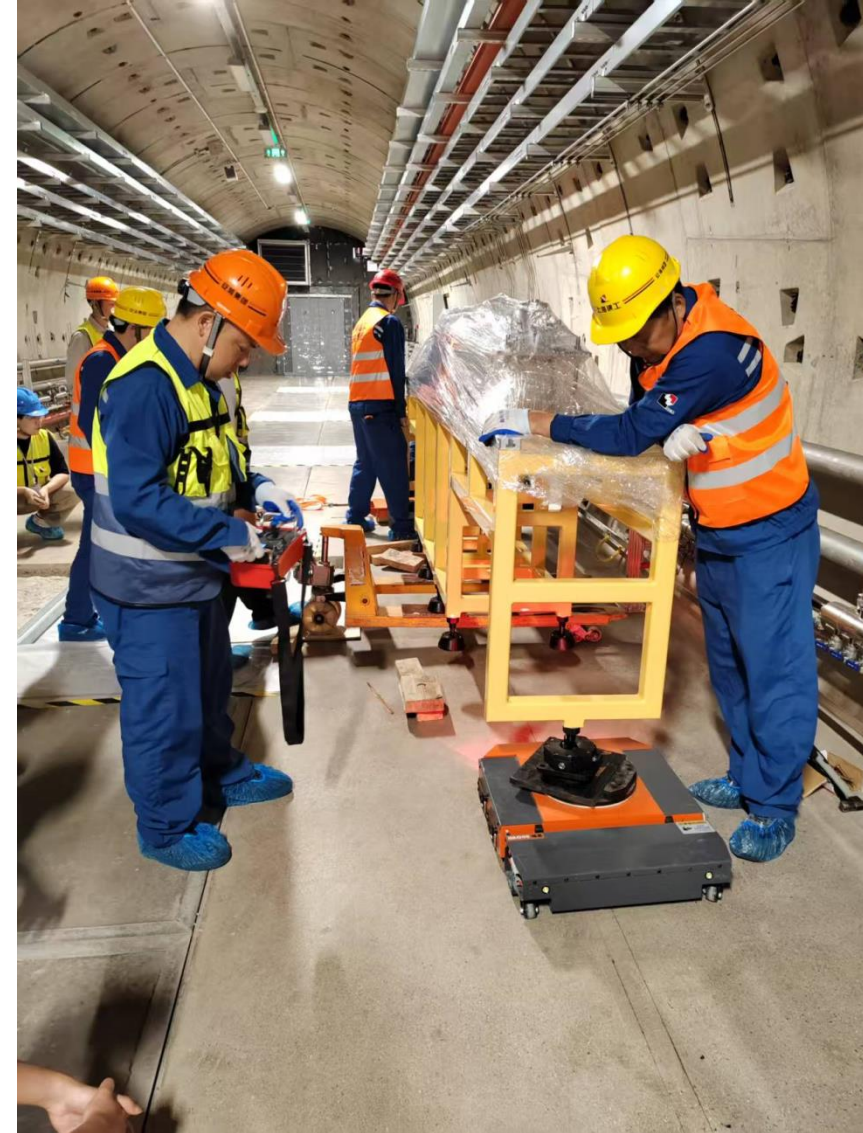
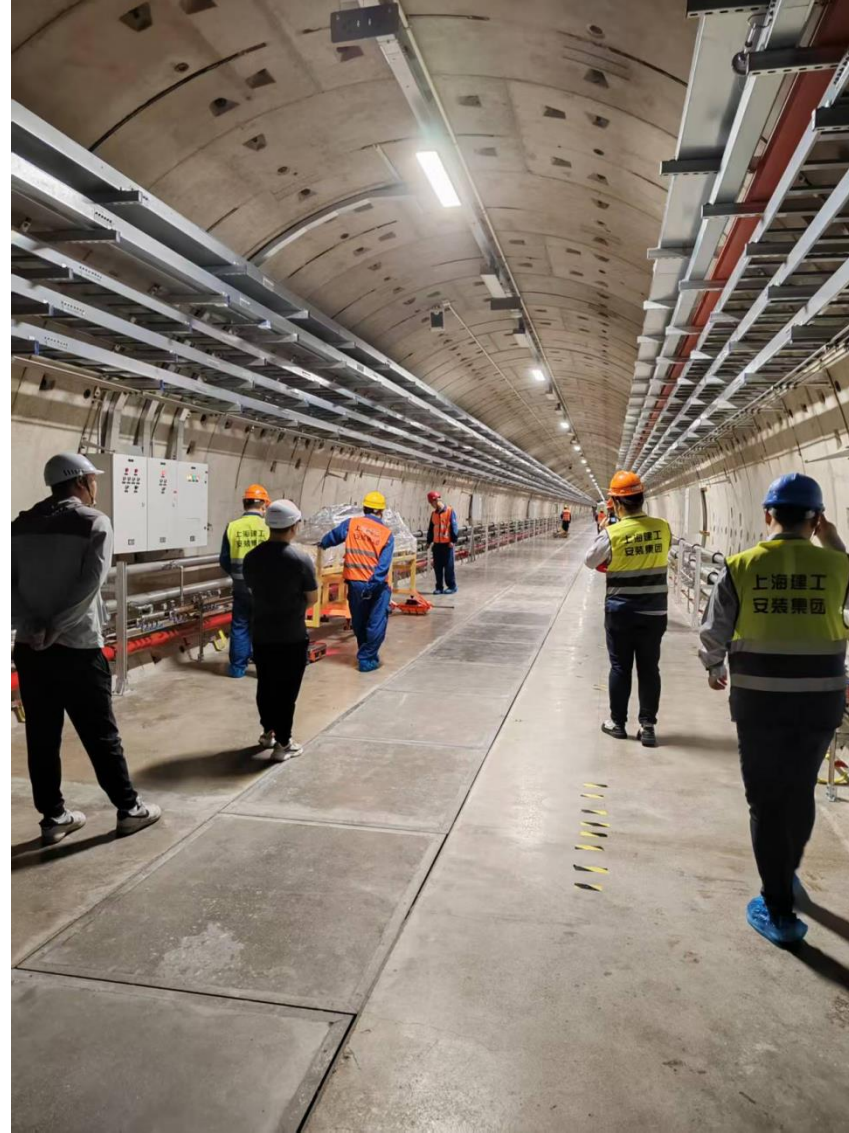


- 5×10^{-5} Torr

Tube2 Ø20*1500mm

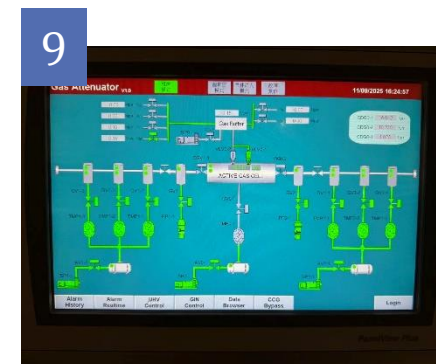
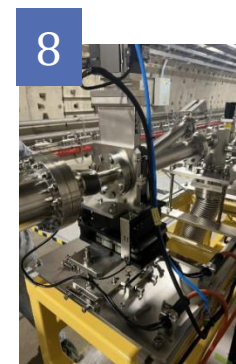
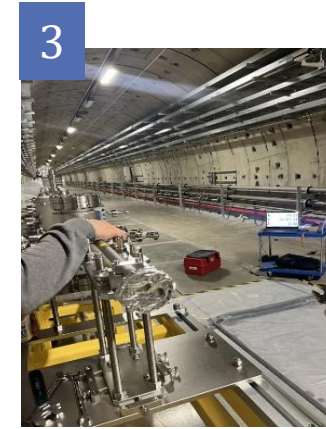


GAT transportation

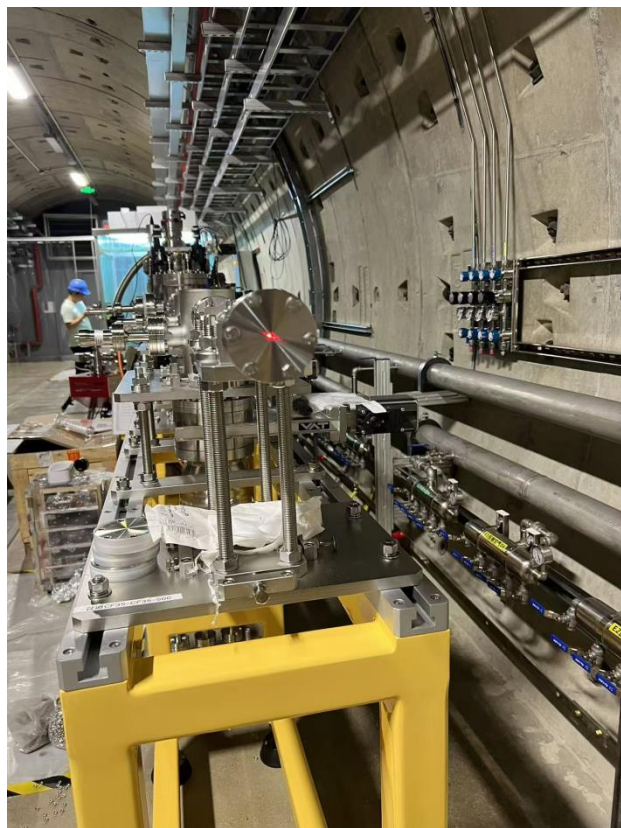


GAT installation

- ① Lifting and Transportation
- ② Components Installation
- ③ Calibration and alignment
- ④ Preliminary leak detection test
- ⑤ Water & Electricity & Gas cables laying
- ⑥ Vacuum cables laying
- ⑦ Vacuum acquisition
- ⑧ Control cables laying
- ⑨ Individual equipment control test

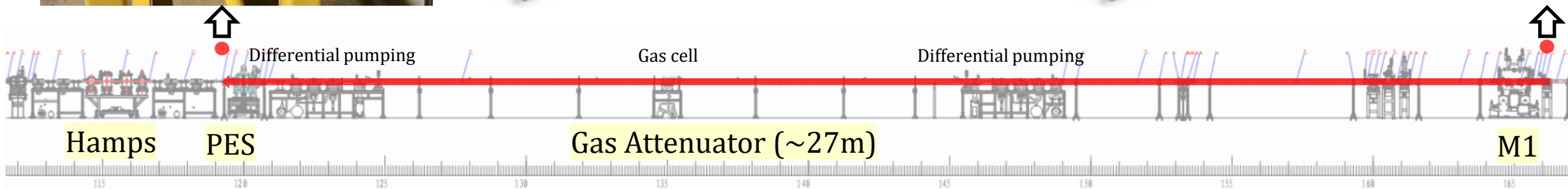
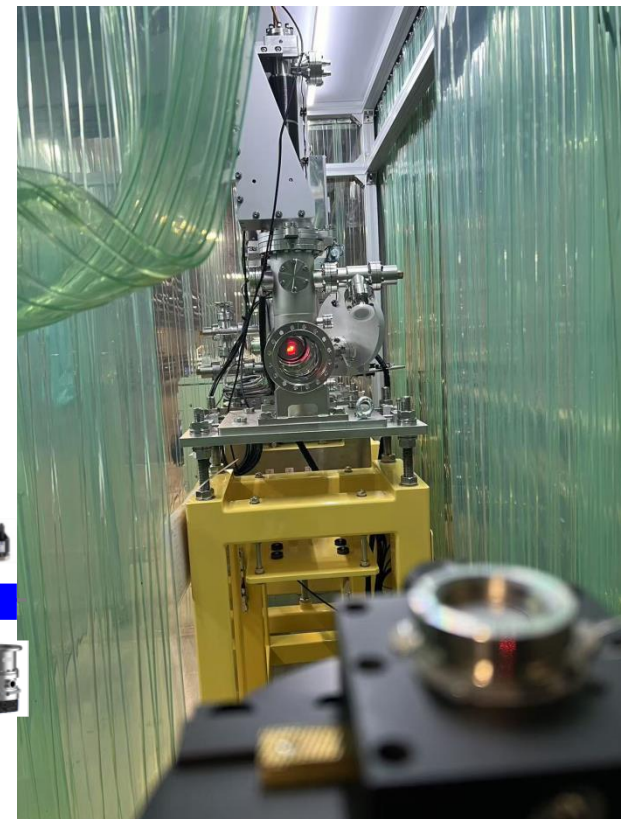
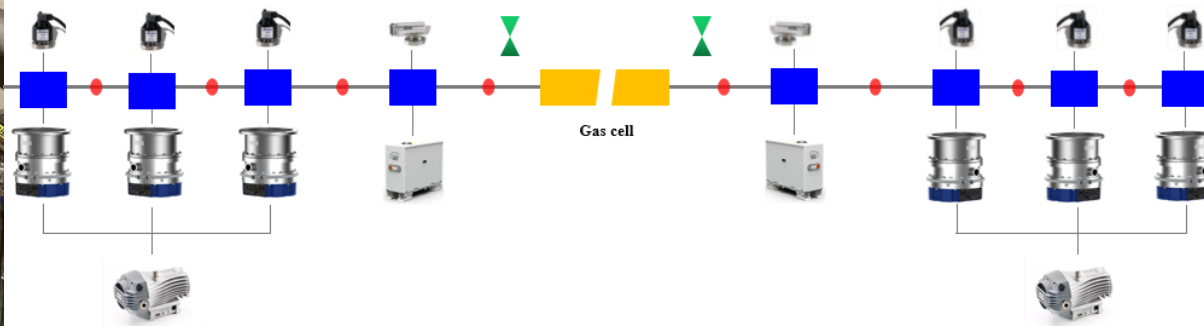


GAT alignment



□ Laser collimator alignment

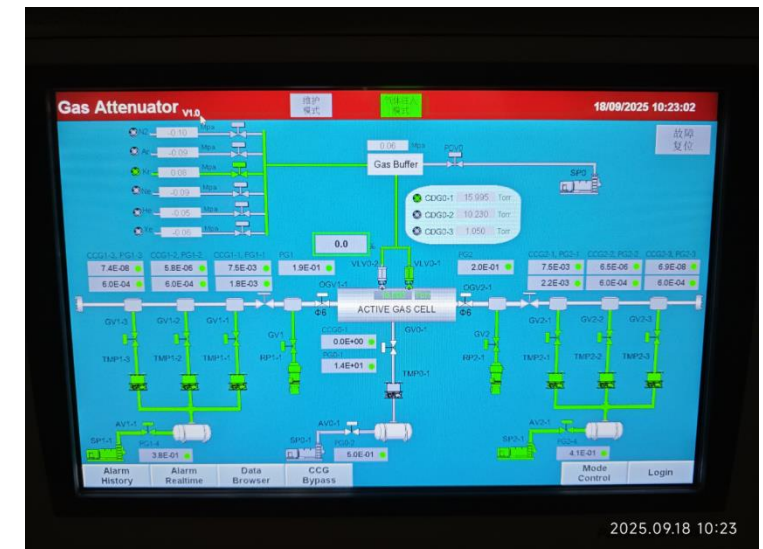
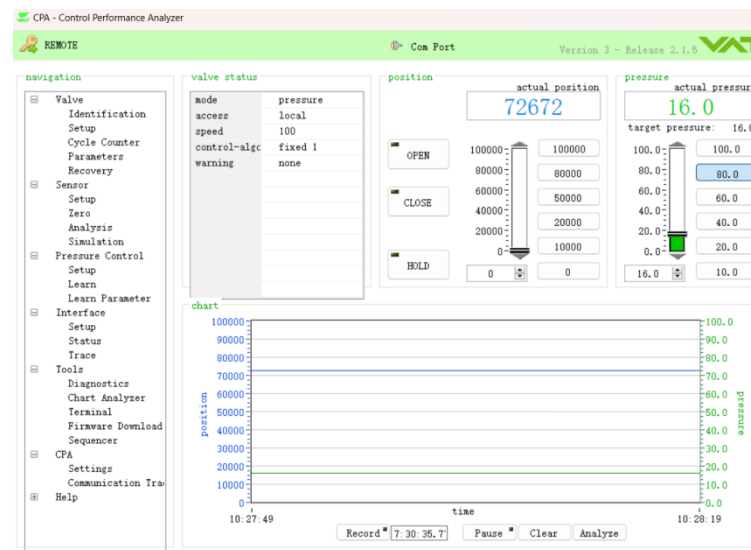
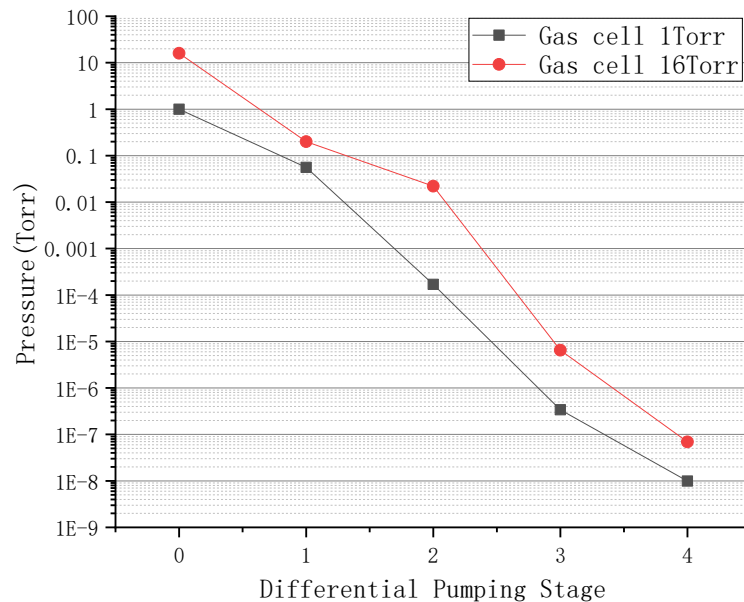
- transmission path exceeds 45 meters
- Succeeded to M1 upstream (8 tubes & 4 orifices with ID from 6mm to 18mm)



GAT commissioning

- ① Differential performance testing completed ✓
- ② Optimization of pressure stability testing completed ✓
- ③ Interface and interlock optimization in progress

Preliminary tests of differential performance and pressure stability meet the requirements of design specifications.



Component upgrades

vacuum leak detection



8. 15-8.18

Incoming inspection of 4 Beam Shutters, 3 Fix masks, 1 Exit mask and 3 Beamstops completed

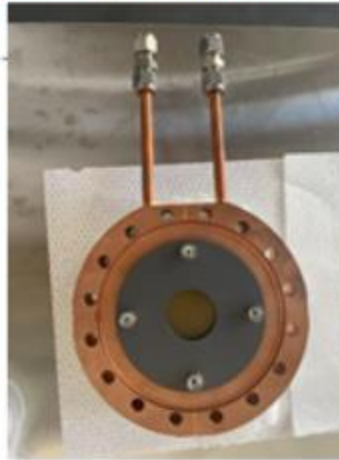
FE Shutters



PD installation



Beamstop



Exit mask



8.19-8.25

Offline assembly, adjustment and installation of 4 Beam Shutters, 3 Fix masks, 1 Exit mask and 3 Beamstops completed

Fixmask1



Incident mask



m Photon Shutter1



Shutter1



m_Shutter2



vacuum leak detection and PD tests



PD current 0.25nA

8. 25-9.9

3 Photon shutters and 2 Masks have been delivered and installed online, with leak checks completed. Ready for integration into the beamline.

The FE Beam Shutter, FE mask, Exit mask, and 3 Beamstops have completed offline alignment and assembly. Awaiting for online.

Summary and Charge

□ Summary

- Experimental hutches completed;
- Gas Electricity & Water supply completed;
- Clean room completed;
- 75% of components arrived;
- Cleaning and particle control process established.

□ Charge

- How to coordinate the installation of FEL-I beamline while commissioning FEL-II beamline in the meantime in the same tunnel?

