



# CSNS加速器调束和运行总结 (2019-2020年度)

王 生

CSNS靶站谱仪运行年会

1

CSNS调束和运行简要回顾

---

2

加速器年度运行情况介绍

---

3

高功率调束

---

4

缩短停机等待时间的技术准备

---

5

加速器运维能力建设

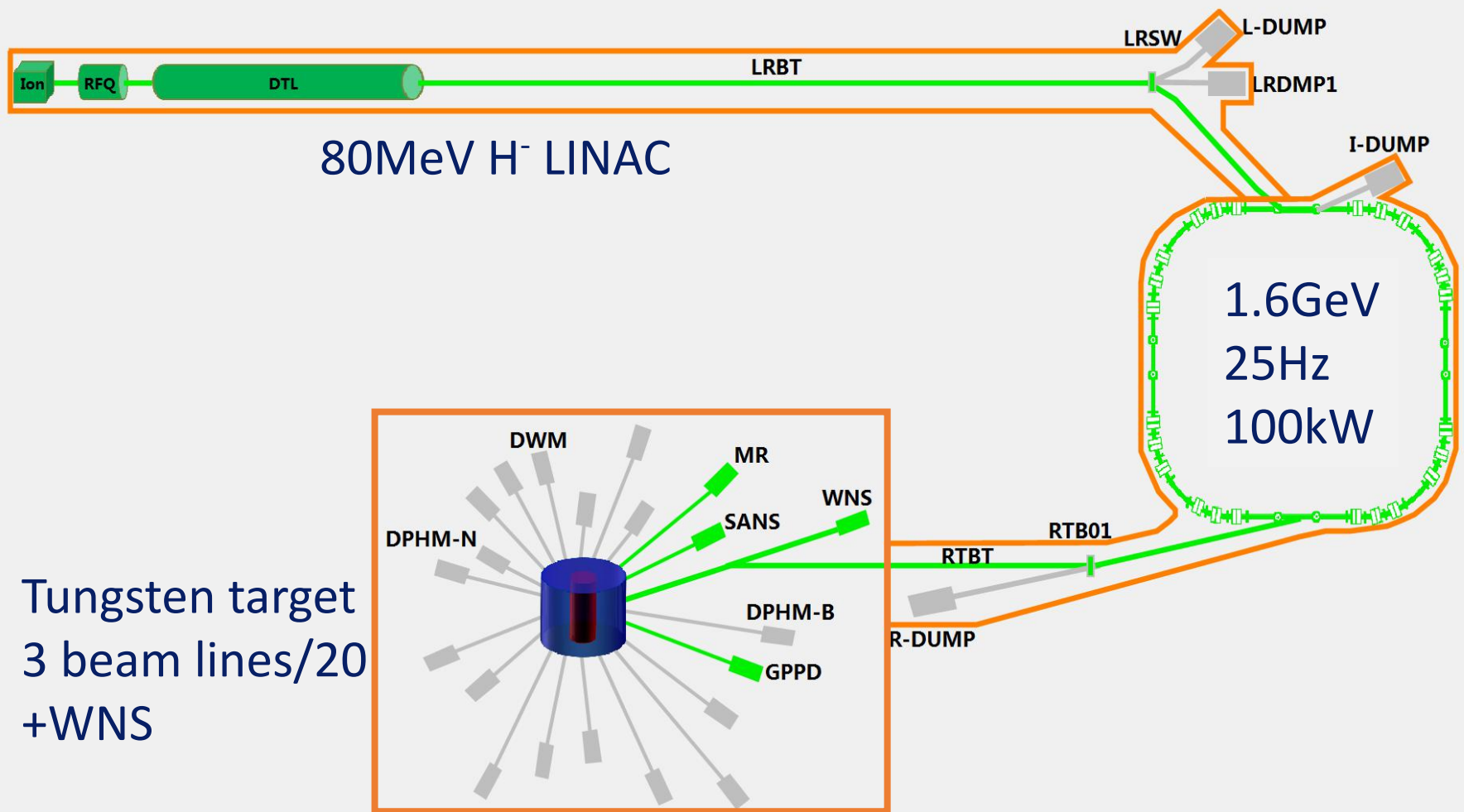
---

6

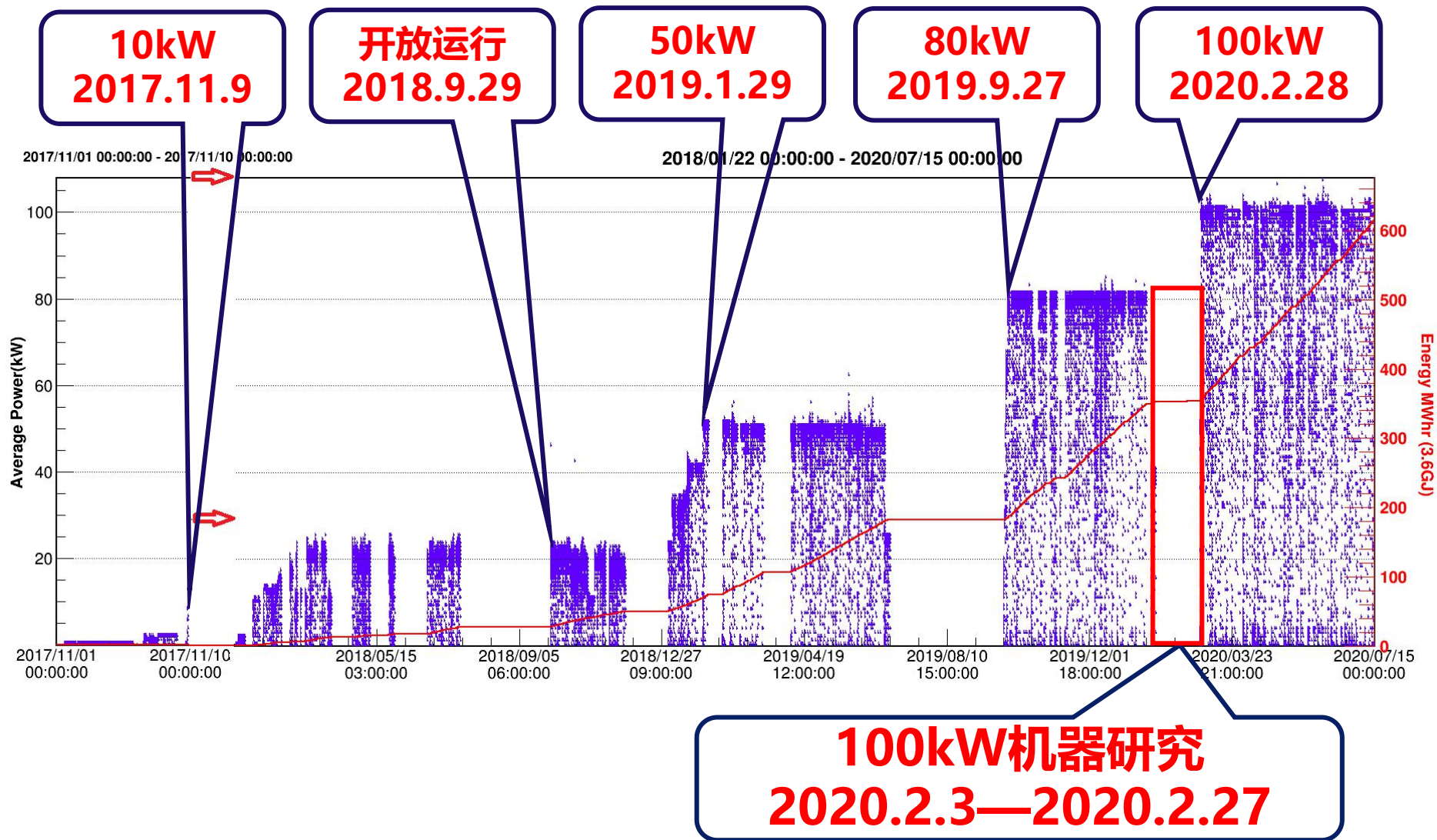
总结

---

# CSNS 装置简介



# CSNS调束和运行回顾



- 2020.7.10, 散裂中子源设计指标现场工艺测试。

表-1 加速器设计指标测试结果

	束流功率 (kW)	脉冲重复频率 (Hz)	每脉冲质子数 ( $10^{13}$ )	平均流强 ( $\mu\text{A}$ )	束流能量 (GeV)
设计指标	100	25	1.56	62.5	1.6
测试结果	103.87	25.00	1.601	64.12	1.62

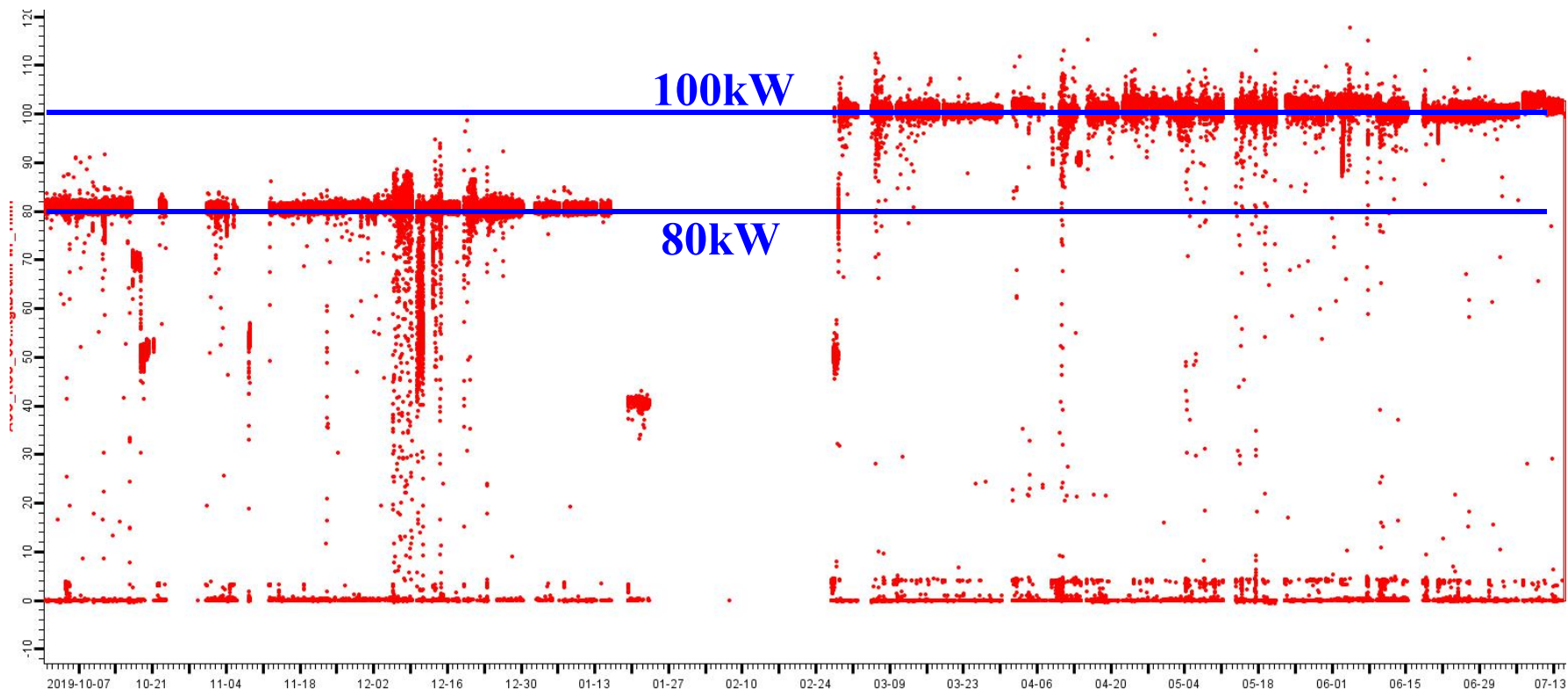
一、 散裂中子源打靶束流功率 103.87 kW, 中子效率 0.16 n/p/sr, 超过国家发展改革委批复的设计指标。

二、 散裂中子源在验收后仅用一年半全面达到设计指标, 在国际同类装置中所用的时间最短, 装置运行效率超过 90%, 达到国际同类装置的先进水平。

# 2019-2020年度束流打靶功率



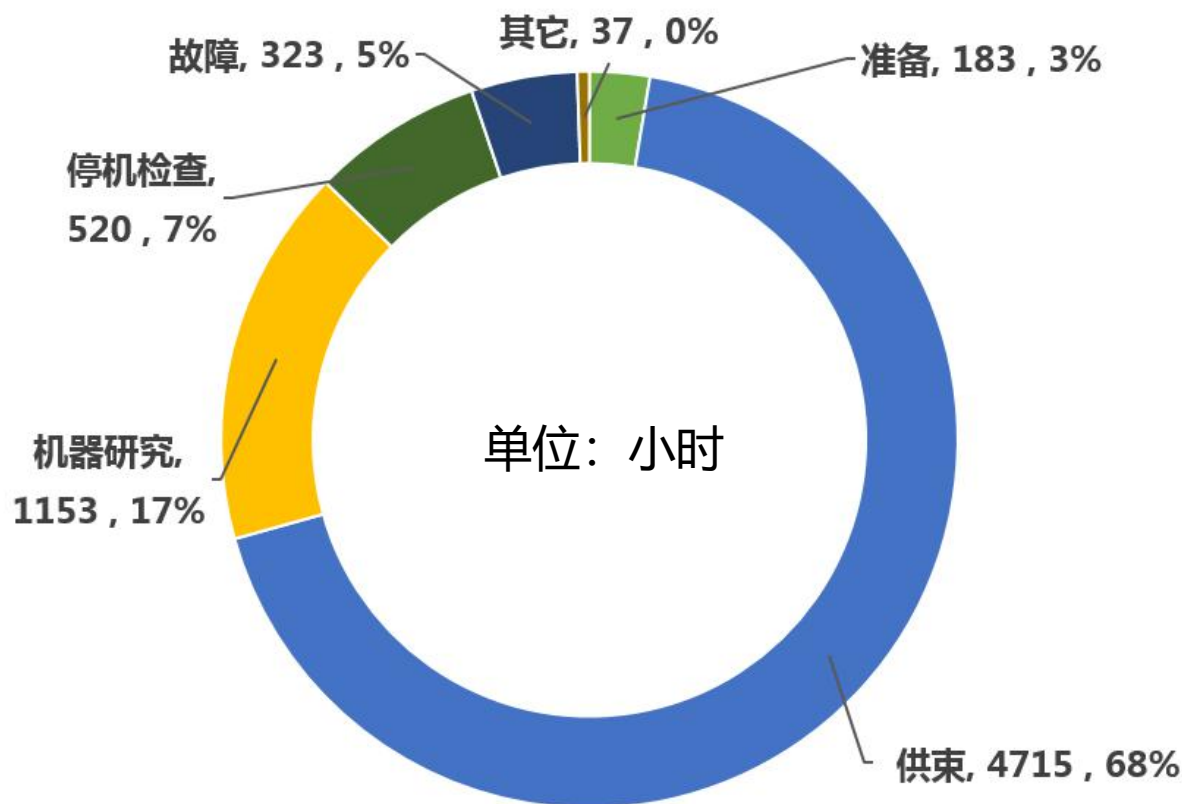
- 打靶功率从80kW提升至100kW，并保持了高效稳定运行。



# 运行机时数据统计(19.9.30-20.7.15)



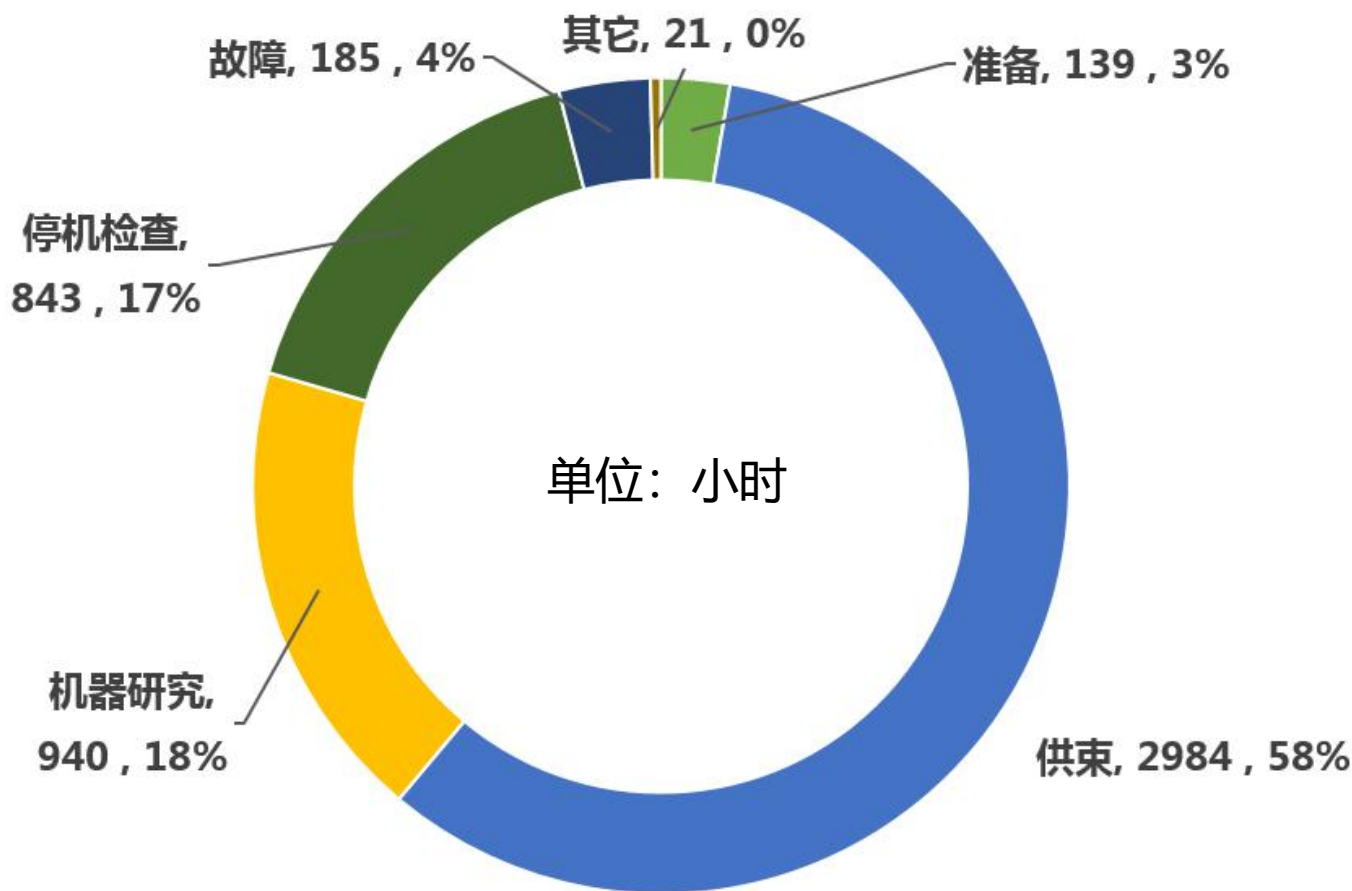
- 两轮开放运行共计供束4715小时。
- 供束效率约为93.6%。  $\text{供束效率} = \text{供束} / (\text{供束} + \text{故障})$



# 运行机时数据统计(20.1.1-20.7.15)



- 2020年上半年完成供束2984小时，全年计划3800小时。
- 供束效率约为94%。

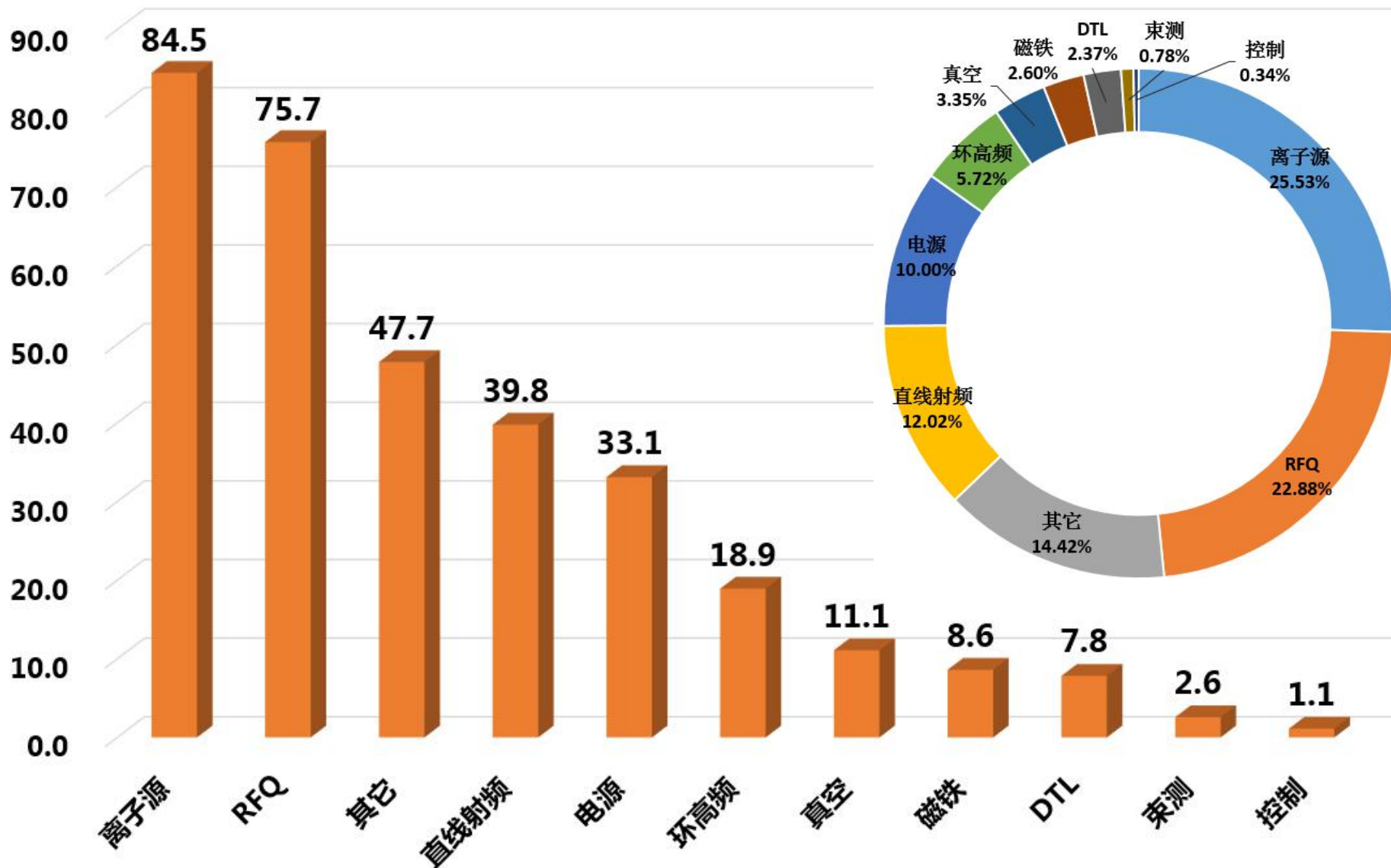




# 运行故障数据统计(19.9.30-20.7.15)



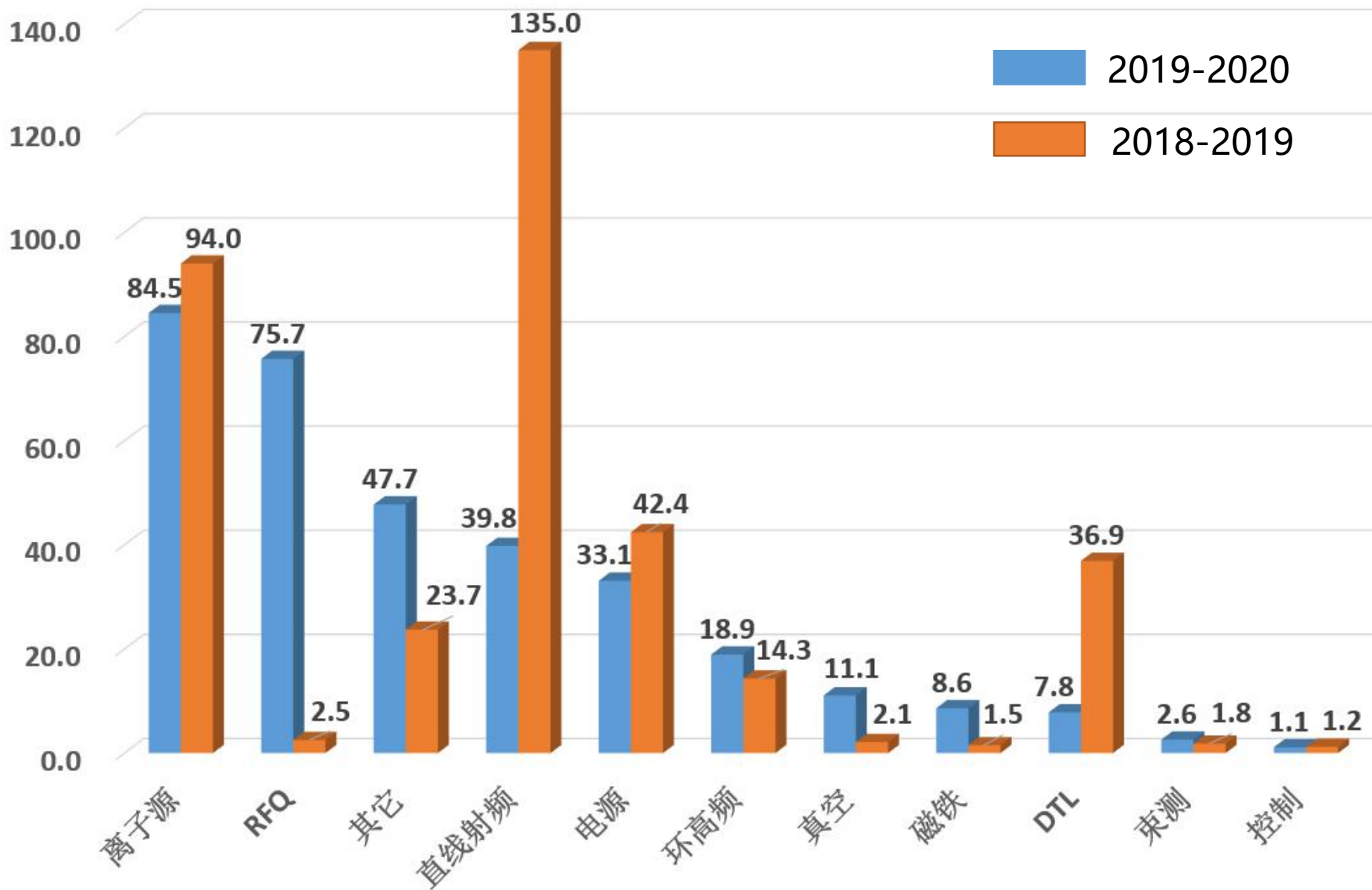
- 统计故障为供束期间的故障，机器研究期间未计入，共计323小时。



## 主要故障原因:

- 前端系统: 离子源弧流不稳、RFQ腔体打火
- 直线高频: 撬棒动作、低电平系统
- 电源系统: 引出电源、LEBT螺线管电源
- DTL系统: 腔体打火、陶瓷窗打火
- 环高频: 反馈放大器、国产四极管打火、腔体打火
- 真空: 机械泵故障、分子泵运行时间到期
- 磁铁: 铁温保护误报警、水流量误报警
- 束测: 束损读出软件自动重启
- 控制: DTL水冷联锁受到信号干扰
- 其它: **束损联锁**、束流调试、值班员误操作

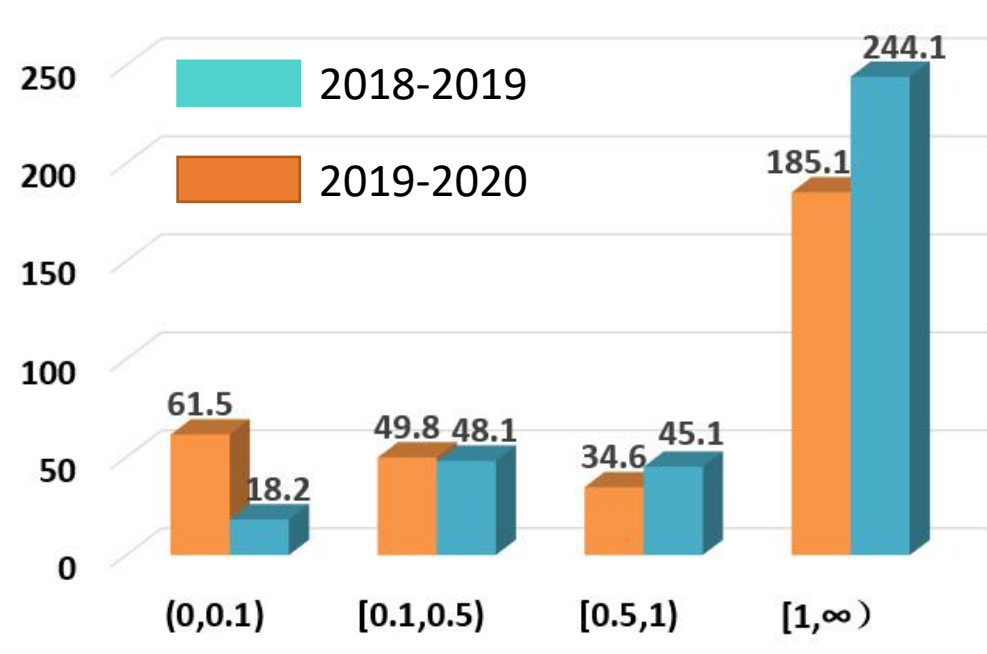
# 运行故障与上一年度对比



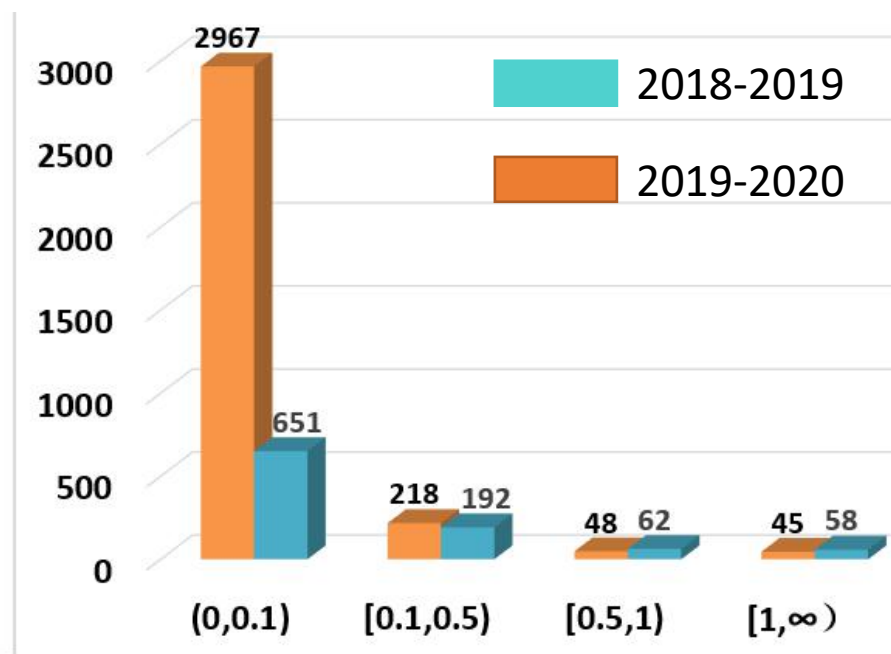
# 运行故障时长分布(19.9.30-20.7.15)



- 2019-2020年度, <0.1小时/次的停束次数接近3000次。其中: 束损导致的停束2720次, 比上一年度多了2100次。
- >1小时/次的停束次数比上一年度少了13次, 故障时长少了59小时。

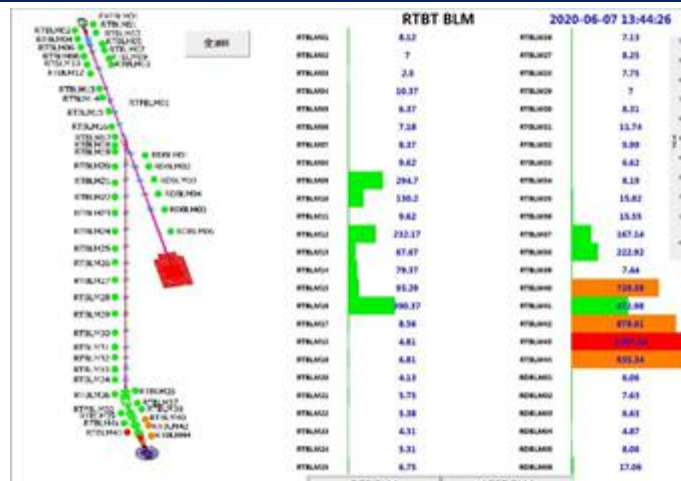


故障时长分布

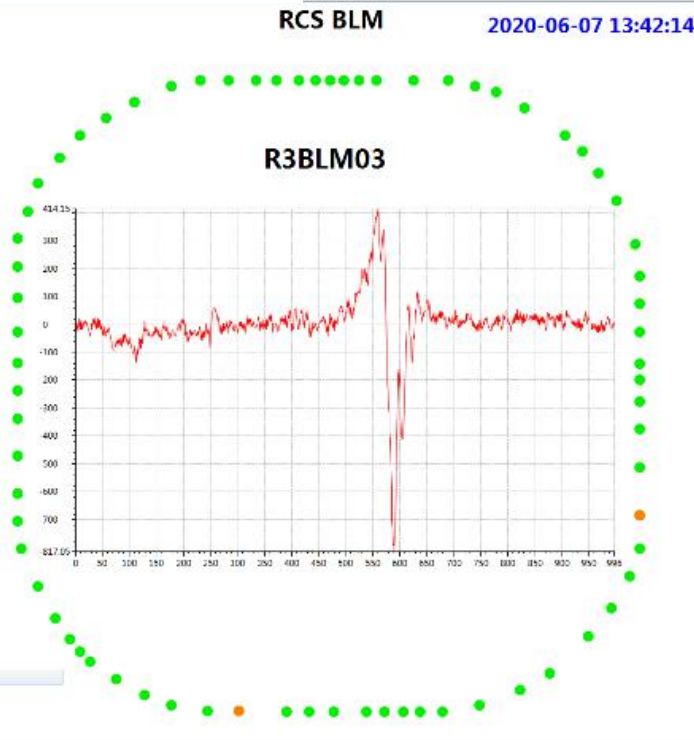


故障次数分布

# 束流损失及控制-联锁及实时显示

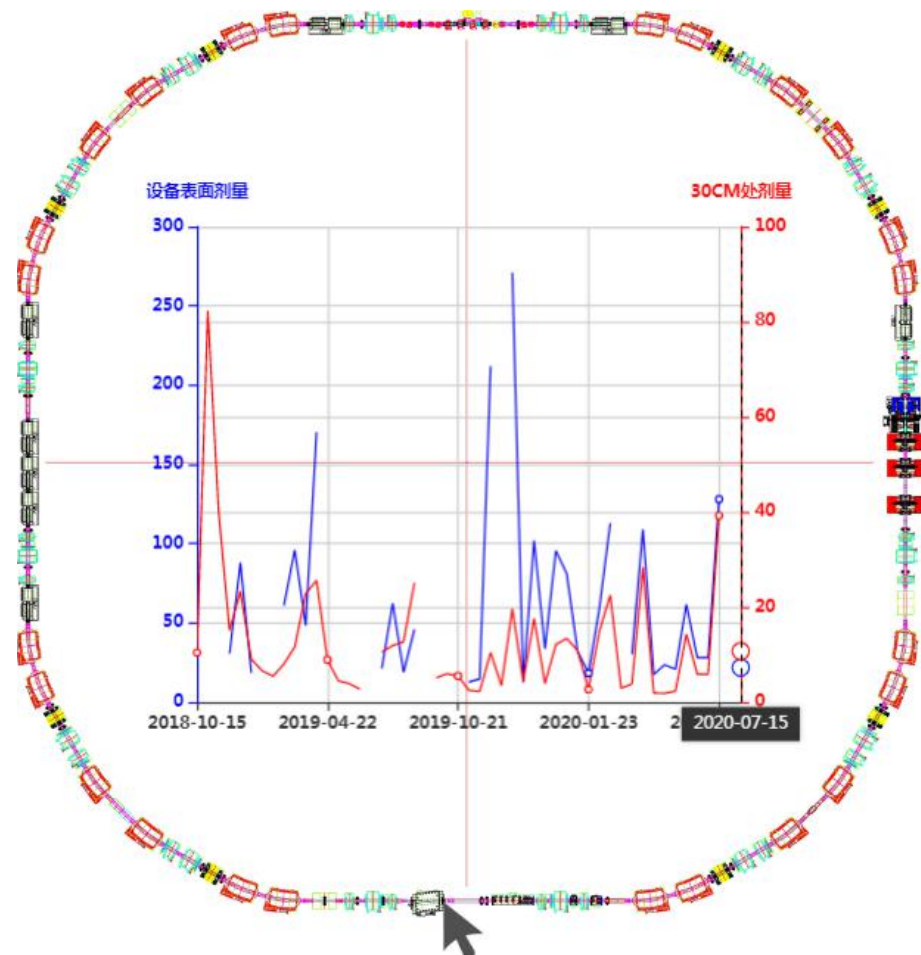
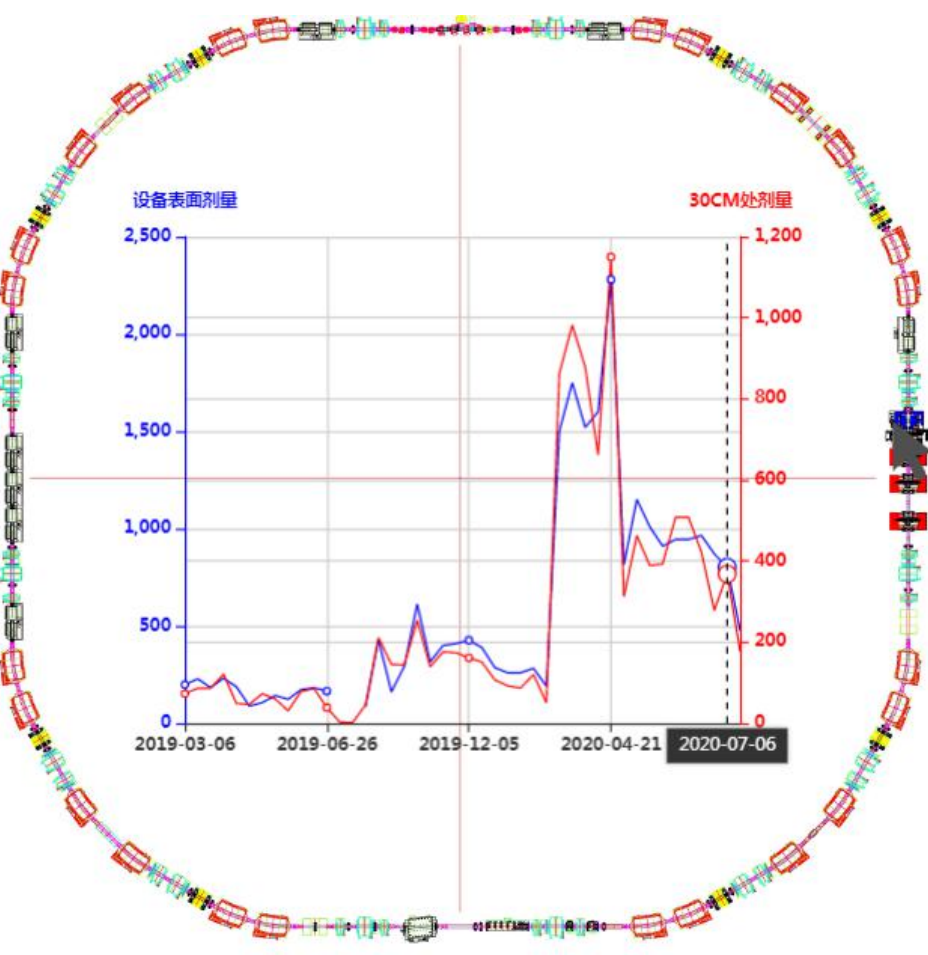


R4BLM01	645.18
R4BLM02	163.95
R4BLM03	62.64
R4BLM04	82.13
R4BLM05	65.97
R4BLM06	78.53
R4BLM07	140.23
R4BLM08	134.93
R4BLM09	111
R4BLM10	105.6
R4BLM11	103.24
R4BLM12	194.07
R4BLM13	72.77
R4BLM14	126.22
R4BLM15	128.41
R4BLM16	45.91
R4BLM17	97.91
R4BLM18	66.77
R4BLM19	97.43
R3BLM17	37.95
R3BLM16	68.84
R3BLM15	78.4
R3BLM14	40.17
R3BLM13	35
R3BLM12	49.12
R3BLM11	358.53
R3BLM10	75.33
R3BLM09	100.13
R3BLM08	132.14
R3BLM07	131.55
R3BLM06	52.51
R3BLM05	56.47
R3BLM04	272.56
R3BLM03	114.09
R3BLM02	67.75
R3BLM01	101.29

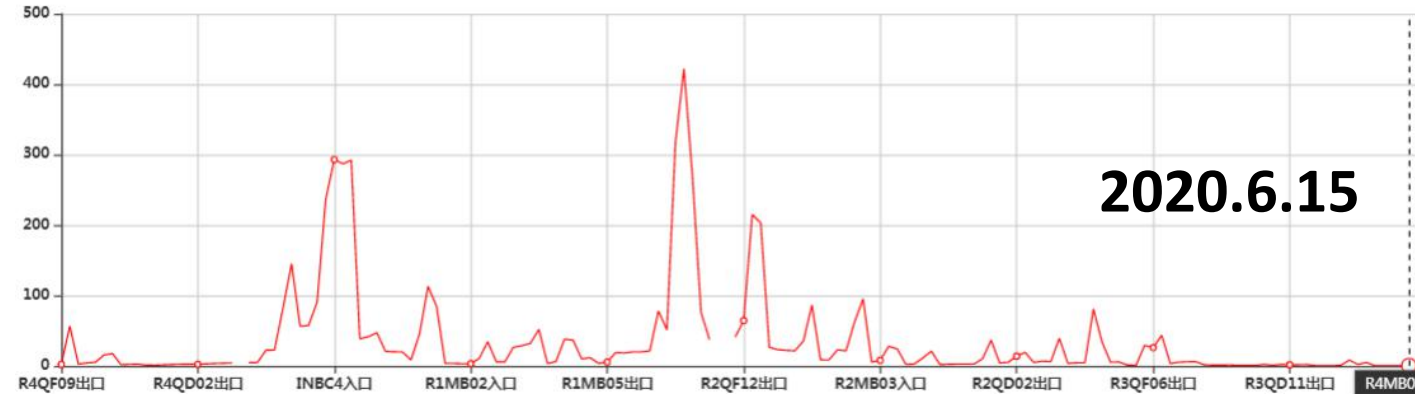
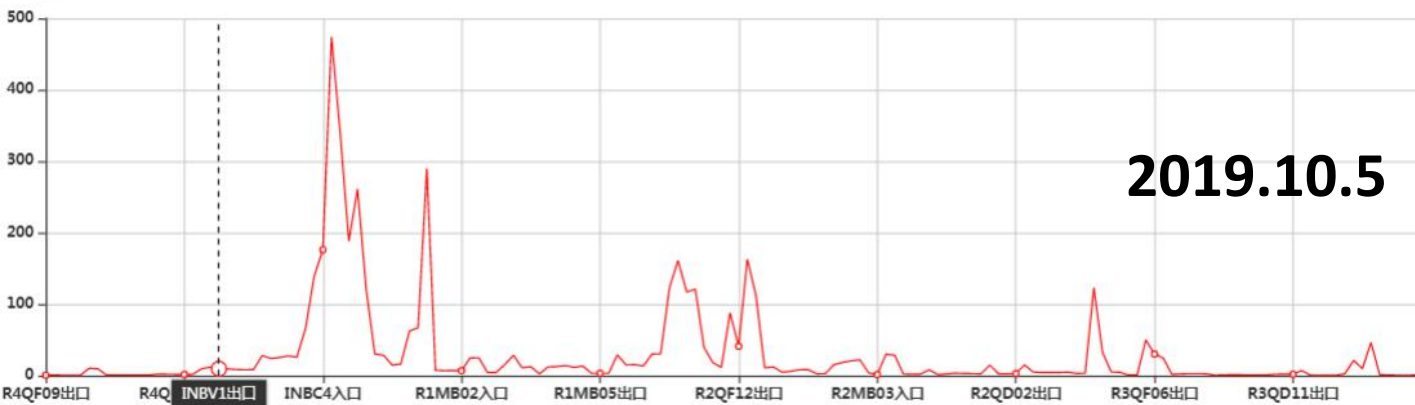
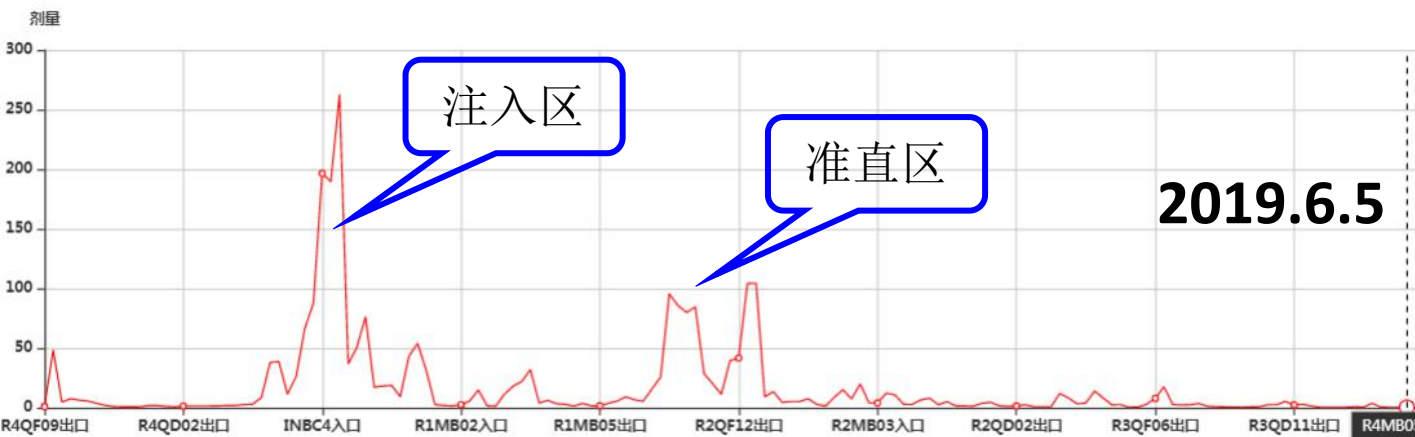


R1BLM01	205.22
R1BLM02	177.97
R1BLM03	220.52
R1BLM04	52.88
R1BLM05	237.95
R1BLM06	82.3
R1BLM07	72.05
R1BLM08	113.19
R1BLM09	174.49
R1BLM10	44.38
R1BLM11	89.39
R1BLM12	75.96
R1BLM13	65.93
R1BLM14	86.77
R1BLM15	53.42
R1BLM16	79.49
R1BLM17	128.32
R1BLM18	172.39
R1BLM19	47.83
R2BLM17	166.14
R2BLM16	668.99
R2BLM15	313.5
R2BLM14	750.26
R2BLM13	80.27
R2BLM12	117.37
R2BLM11	51.27
R2BLM10	81.85
R2BLM09	140.59
R2BLM08	74.23
R2BLM07	46.88
R2BLM06	125.39
R2BLM05	319.22
R2BLM04	175.63
R2BLM03	140.69
R2BLM02	274.43
R2BLM01	211.27

- 每周例行停机时间，对隧道内设备的感生放射性剂量进行测量，建立感生放射性剂量数据库。



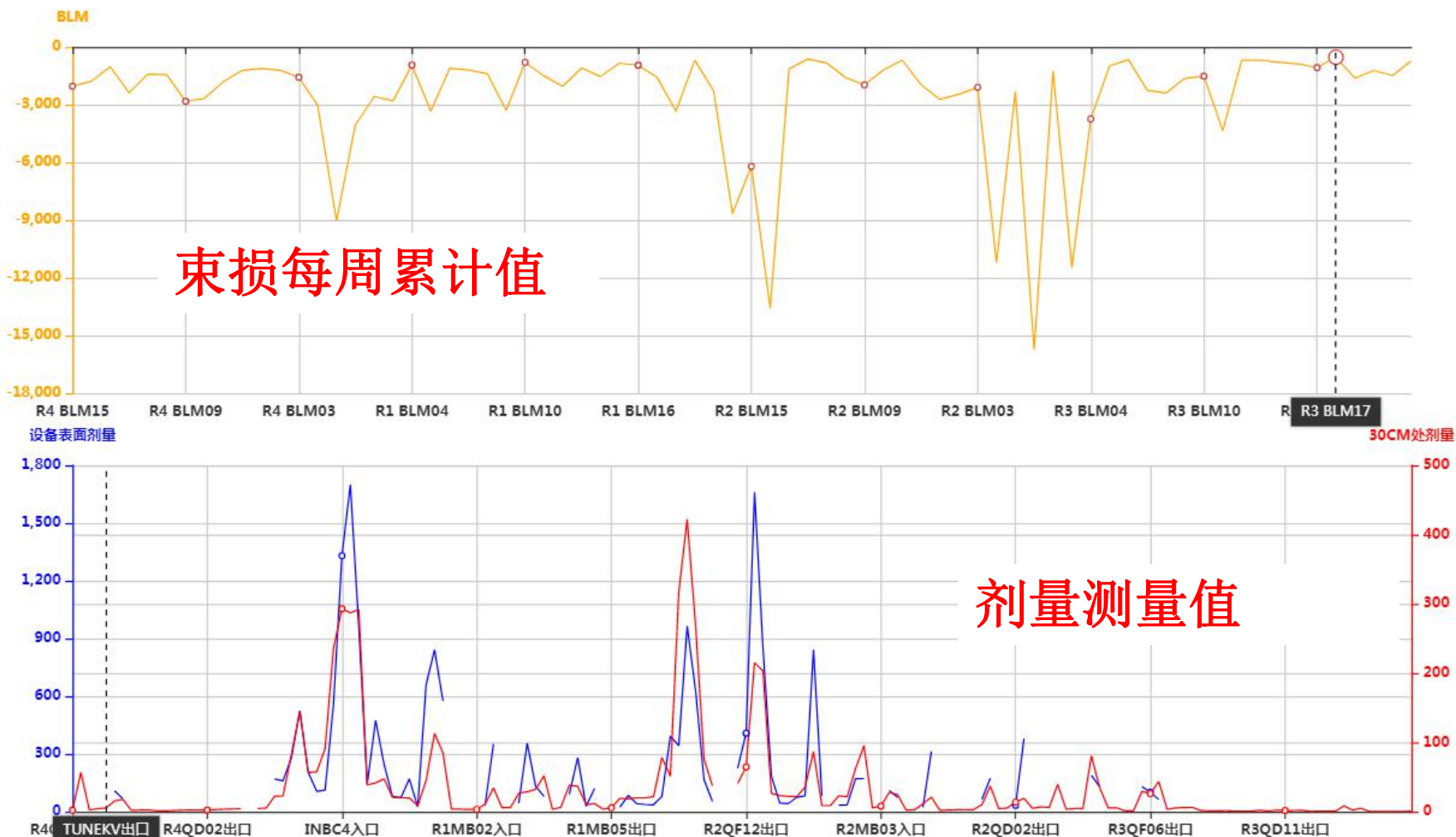
# 不同束流功率下RCS剂量对比



# 束流损失及剂量测量值关系



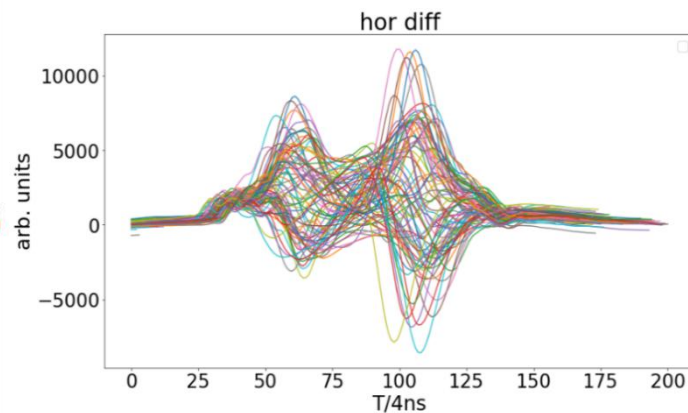
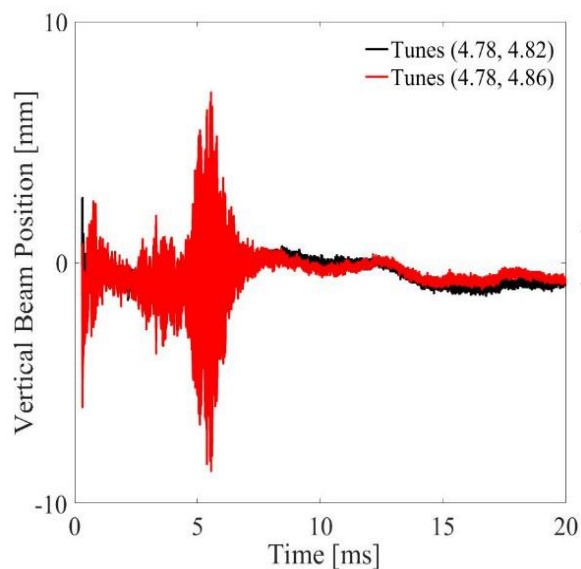
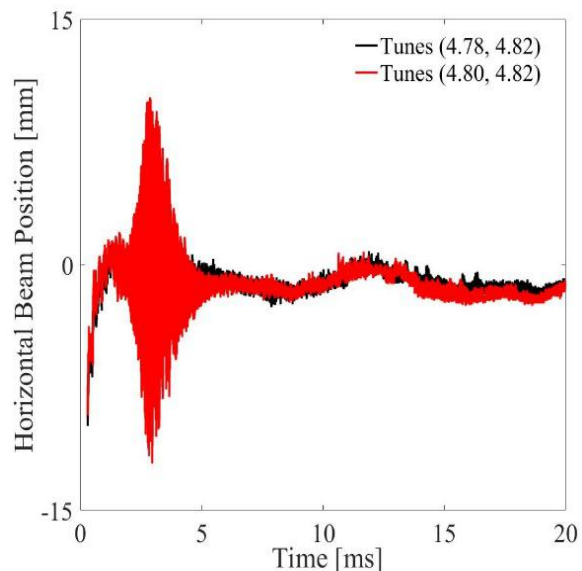
- 积累数据，逐步建立起束损和感生放射性剂量对应关系。





## 高功率时 (>50kW) RCS出现很强的束流集体效应

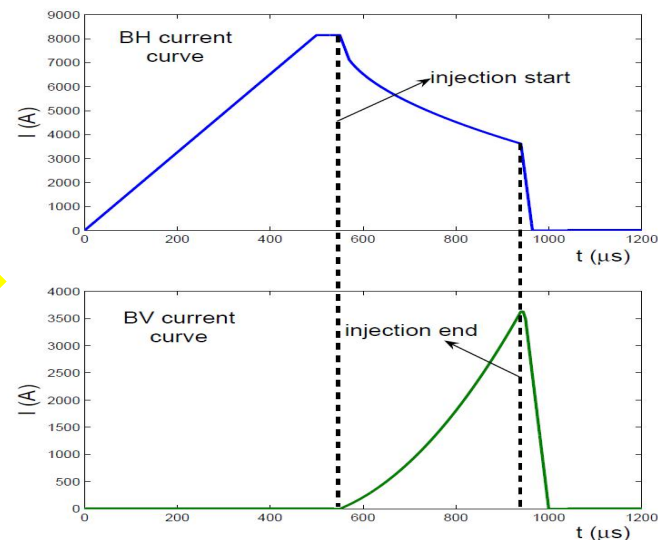
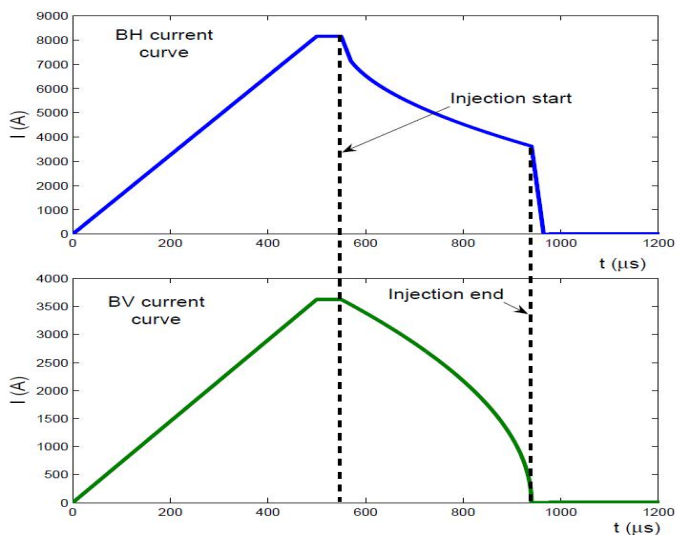
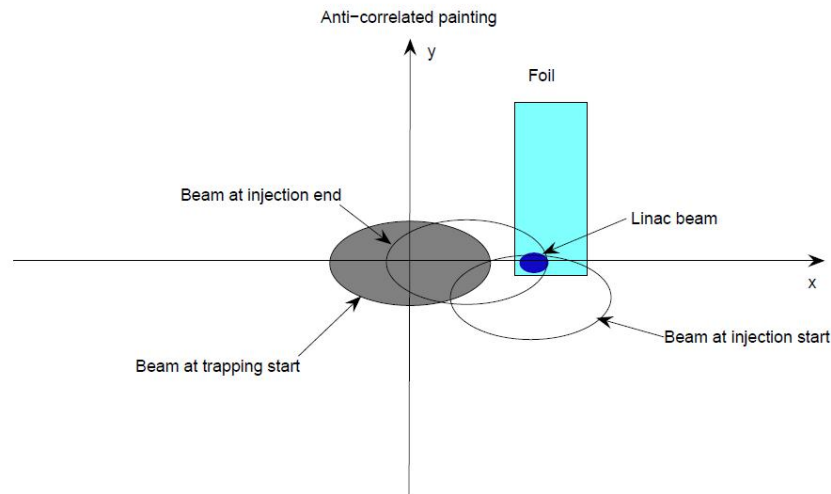
- 注入涂抹空间电荷效应导致涂抹完成后，束流发射度较大
- 注入区的孔径限制了注入涂抹优化
- 发现束流不稳定性现象



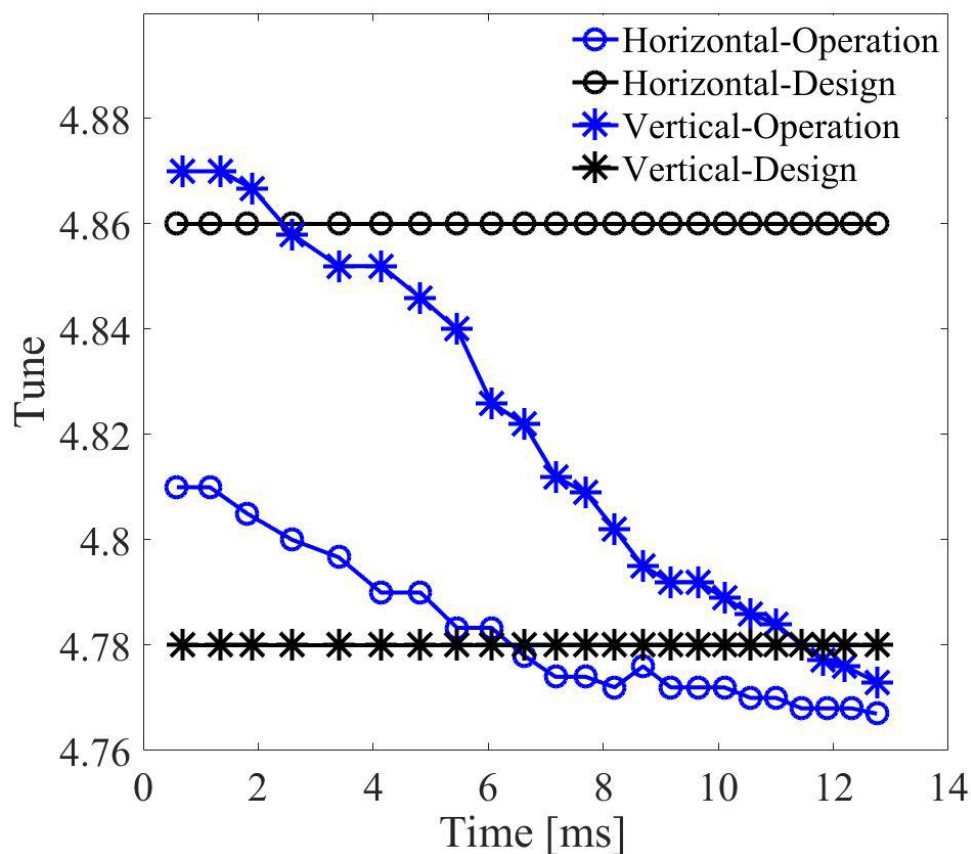
发现了束流不稳定性现象

# 高功率调束的措施

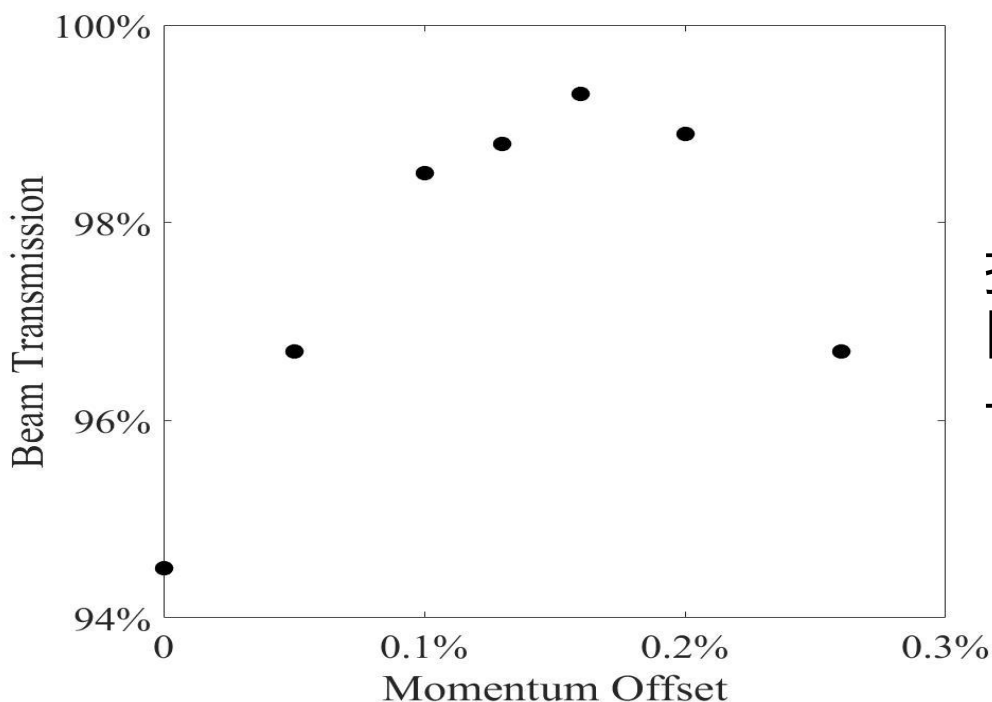
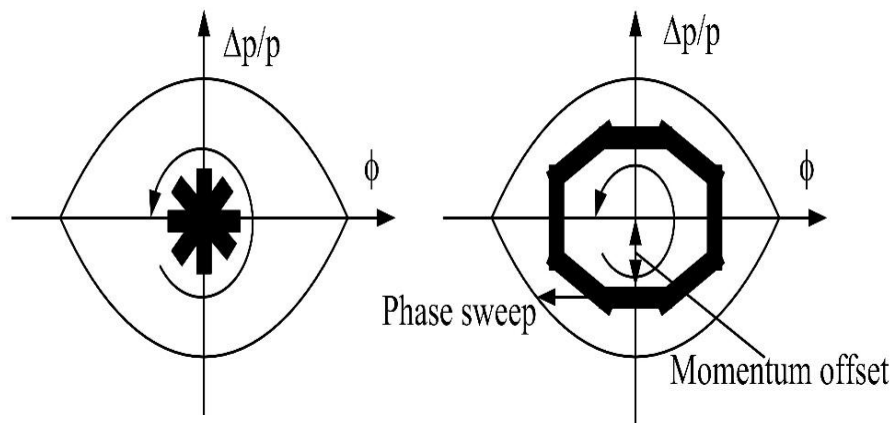
解决措施1: 把设计的注入反相关涂抹改为相关涂抹, 大大减小了空间电荷效应引起的发射度增长。



解决措施2: **采用变化的工作点**: 注入阶段工作点设置为 (4.81,4.87) 以减小空间电荷效应引起的束流损失, 加速过程中逐步把工作点降至 (4.77, 4.77) 以抑制不稳定性。



解决措施3: **纵向聚束因子优化**, 减小空间电荷效应。



控制注入能量偏心优化聚束因子。左图为束流传输效率与注入能量偏心的关系。

## ■ 开展了大量的实验测试及理论分析工作：

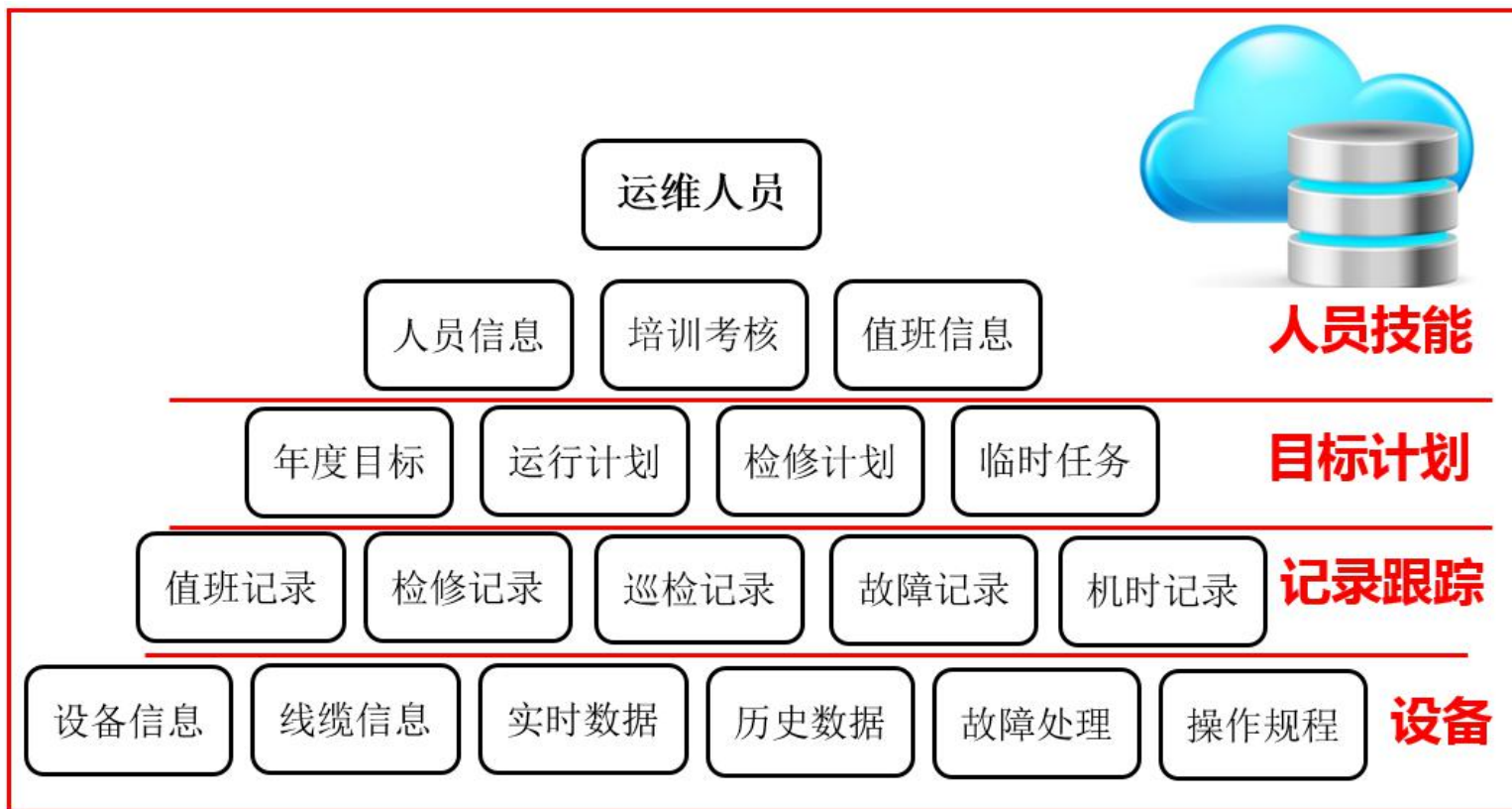
- 短时运行->停机后的剂量衰减情况测量
- 长时运行->停机后立即进入隧道的伽马剂量率、灰尘核素测量
- 长时运行->停机后的气溶胶取样测量
- 长时运行的空气活化直接取样测量
- 空气活化监测系统的伽马核素浓度监测
- 空气活化监测系统的滤纸取样测量
- 100 kW下环隧道气氛含量测量
- 隧道内氦含量测量

## ■ 工作人员辐射剂量评估：

- 部件伽马外照射的短寿命核素占比和衰减情况
- 气载放射性的辐射影响

实验测量和理论分析表明：在满足辐射安全的前提下，可以大幅度缩短进入隧道的等待时间。

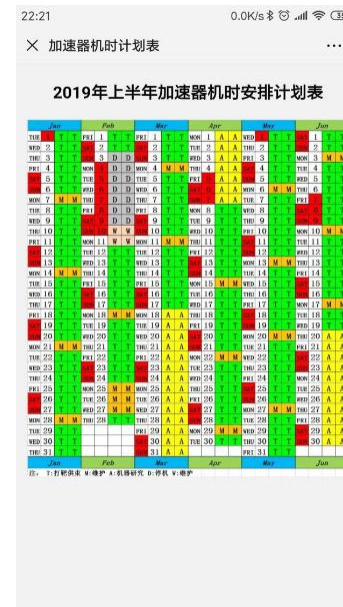
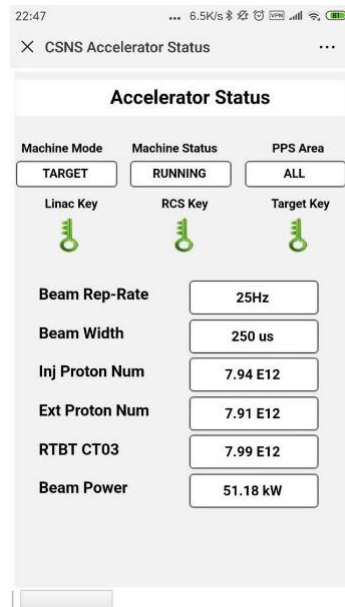
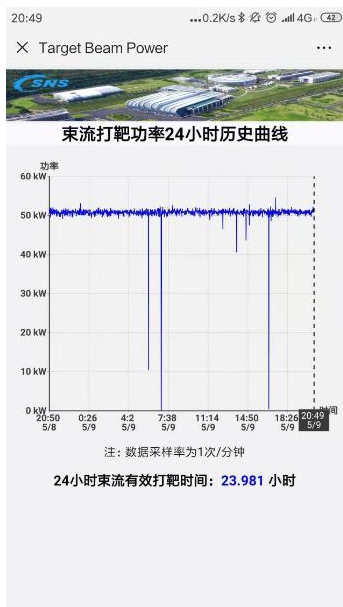
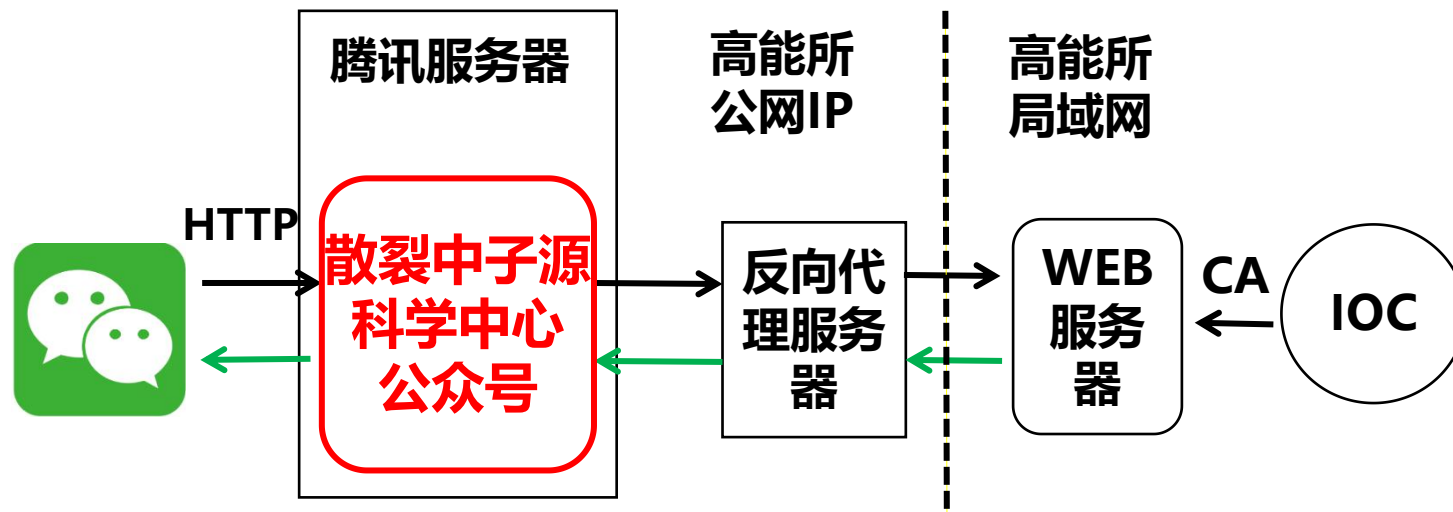
- 信息化运行维护，是大型加速器装置运维的必走之路，大数据的存储和分析对于提高运行效率可发挥很大作用。



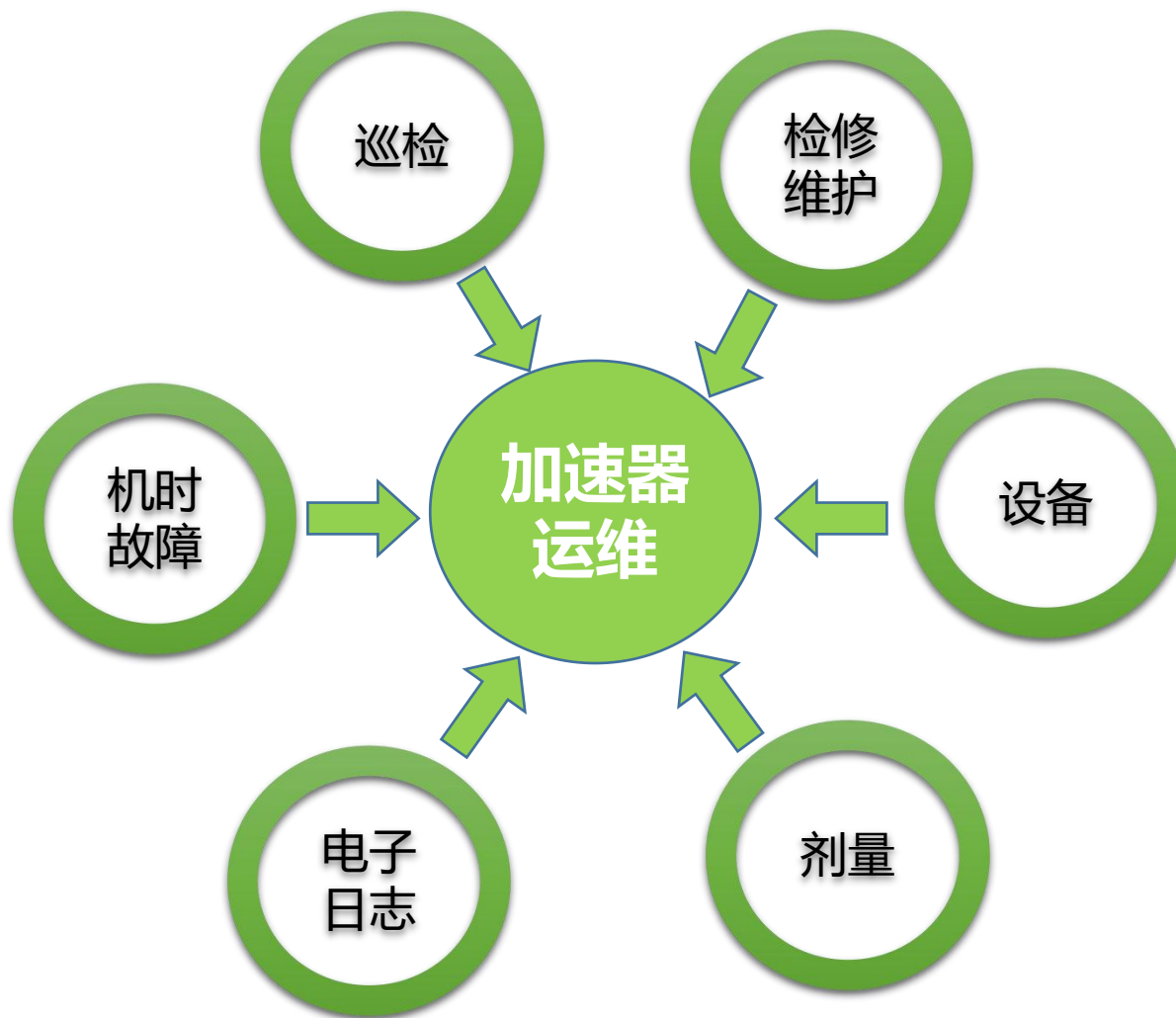
# 加速器信息化运行维护建设



- 建立了基于企业微信的信息发布平台(一机在手随时看)



- 基于Web+数据库的运维程序开发及应用





- <http://10.1.236.26/>-加速器检修维护系统

**检修任务管理系统** [首页](#) [系统划分](#) [需求种类](#) [用户信息](#) [关于](#) [FAQ](#) 登录

分总体  + 新建任务 (1 of 4) « < 1 2 3 4 > » 25 1 重置检索 检索 高级检索

序号	状态 --选择--	系统名称 --选择--	检修项目 检索	开始时间	结束时间	所需 天数	通用 --选择--	资源 --选择--	条件 --选择--	参加人员 检索	⚙️
1	已完成 <input type="checkbox"/> 1	控制	反角白光辐照测试平台预接线 ⚠️	2020-08-31	2020-09-03	4		RTBT隧道	磁铁不加电	何泳成, 宁常军	
2	进行中	束测	直线、环及RTBT CT校准 ⚠️	2020-09-01	2020-09-04	4				黄蔚玲, 邱瑞阳	
3	进行中 <input type="checkbox"/> 13	真空	协助RCS磁铁检修 ① ⚠️	2020-08-10	2020-08-27	18	运输, 吊车, 安装, 拆卸, 工人	环隧道	电, 磁铁不加电, 剂量测量, 高频不加功率, 空调	谭彪, 黄涛	
4	推迟	真空	RTBT分子泵的安装 ⚠️	2020-09-01	2020-09-10	10	运输, 吊车, 安装, 拆卸, 工人	RTBT隧道		刘佳明, 黄涛	
5	推迟 <input type="checkbox"/> 1	磁铁	RCS二四极磁铁温控探头更换 ⚠️	2020-09-01	2020-09-03	3		环隧道, 电源系统	电, 磁铁不加电	吴煜文, 刘艺琴, 李帅	
6	推迟 <input type="checkbox"/> 1	真空	RCS陶瓷真空盒磁极间隙测量 ① ⚠️	2020-09-01	2020-09-03	3		环隧道	电, 磁铁不加电, 剂量测量, 高频不加功率, 空调	谭彪, 黄涛	

- <http://accop.csns.ihep.ac.cn/>-加速器机时故障系统

OS 加速器机时故障信息系统 2020-09-02 17:04:00

主页 记录 统计 管理 帮助
zhangyl (张玉亮)

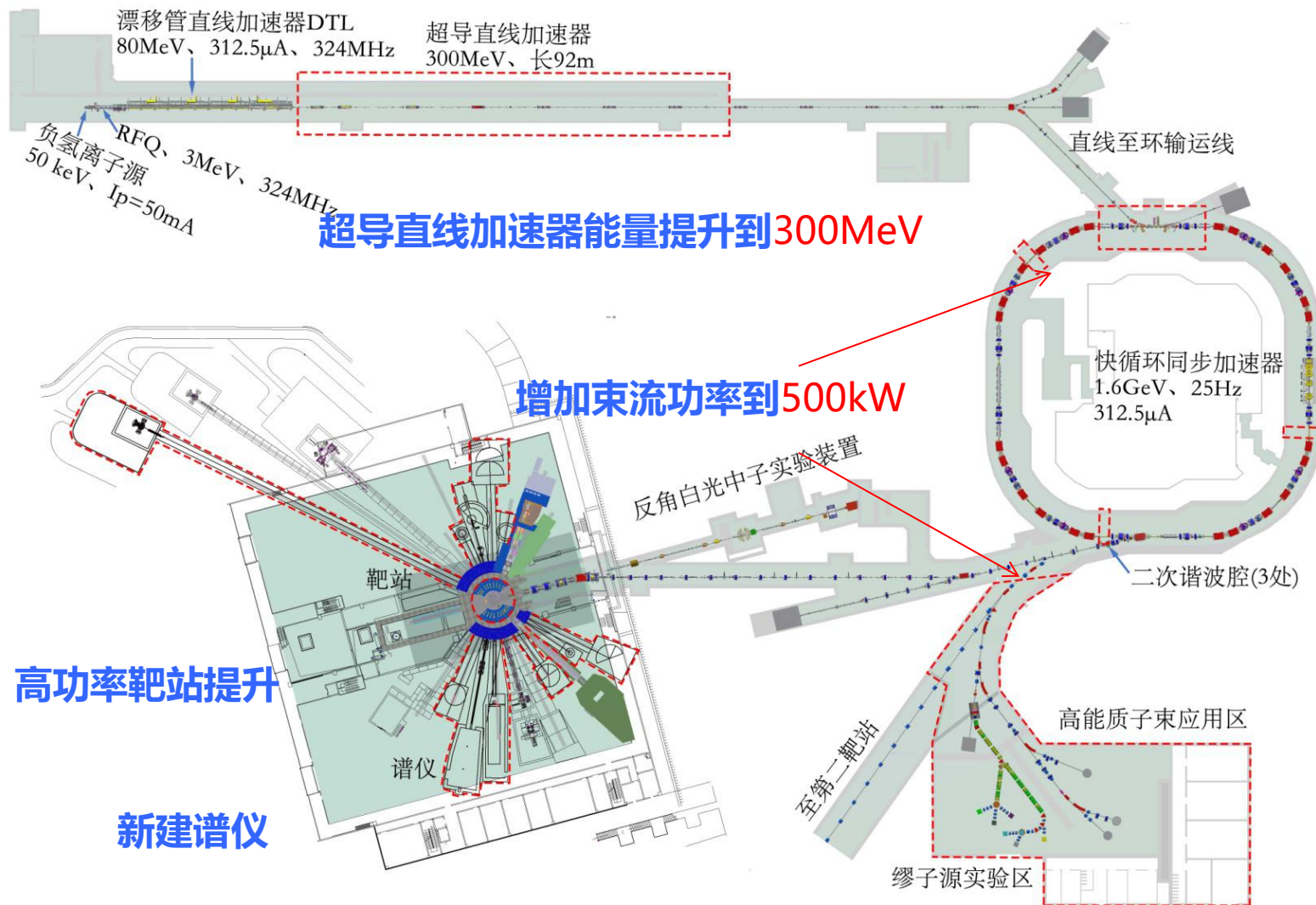
+ 新建故障
全部
从
起始时间
到
终止时间
查询
重置

**故障记录**

(1 of 182) 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 25 1

序号	开始时间	结束时间	持续时间 (小时)	机时 全部	系统 全部	子系统 关键字检索	故障描述 关键字检索	记录人员 关键字检索
1	2020-07-14 15:33	2020-07-14 16:24	0.85	供束	直线射频	RFQ功率源	RFQ调谐管真空低于2E-5帕, 撬棒动作, RFQ高压掉了。	安宇文
2	2020-07-14 09:04	2020-07-14 09:05	0.02	供束	其它	束损	DTL4驻波比保护, 触发LDBLM01/LRBLM15联锁。	安宇文
3	2020-07-14 03:47	2020-07-14 03:48	0.02	供束	其它	束损	LDBLM01/LRBLM15束损联锁, DTL4驻波比增加一次	田建民
4	2020-07-14 02:34	2020-07-14 02:35	0.02	供束	其它	束损	R3BLM08束损联锁, FPS脉内切束	田建民
5	2020-07-13 23:20	2020-07-13 23:22	0.03	供束	前端	RFQ	RFQ打火, FPS10秒八次联锁, 手动停束, RFQ驻波比次数增加59次, 故障时间2分钟;	田建民
6	2020-07-13 20:53	2020-07-13 20:54	0.02	供束	前端	RFQ	RFQ打火, 手动停束, RFQ驻波比次数增加49次, RFQCCG01从3.7e-6跳变到5.2e-6, RFQCCG02从2.1e-6跳变到8.57e-6, 停束期间离子源引出高压关闭, 1分钟恢复;	田建民
7	2020-07-13 19:45	2020-07-13 19:46	0.02	供束	其它	束损	LRBLM20束损联锁, FPS脉内切束	田建民
8	2020-07-13 19:44	2020-07-13 19:45	0.02	供束	其它	束损	LRBLM20束损联锁, FPS脉内切束	田建民
9	2020-07-13 12:27	2020-07-13 12:28	0.02	供束	电源	Extraction	kicker05多漏触发各一次	穆奇丽
10	2020-07-13 10:30	2020-07-13 10:31	0.02	供束	其它	束损	LRBLM20束损联锁, 同时离子源引出高压关闭, time off, 立刻恢复;	穆奇丽
11	2020-07-13 10:12	2020-07-13 10:14	0.03	供束	前端	RFQ	RFQ打火, 同时离子源引出高压关闭, time off, 2分钟恢复;	穆奇丽
12	2020-07-13 10:10	2020-07-13 10:11	0.02	供束	其它	束损	R3BLM08束损联锁, 同时离子源引出高压关闭, time off, 立刻恢复;	穆奇丽
13	2020-07-13 10:05	2020-07-13 10:06	0.02	供束	前端	RFQ	RFQ打火, 手动停束, 同时离子源引出高压关闭, time off, 立刻恢复;	穆奇丽
14	2020-07-13 09:58	2020-07-13 09:59	0.02	供束	前端	RFQ	RFQ打火, 手动停束, 同时离子源引出高压关闭, time off, 立刻恢复;	穆奇丽

# CSNS二期加速器方案



- CSNS加速器已达到100kW束流功率设计指标，并保持稳定可靠运行。
- 已初步建成一支专职运行值班队伍，专业技能培训和考核还需进一步加强。
- 增加设备，开展实验测试研究，为大幅度缩短停机等待时间做准备。
- 逐步积累运行经验，提高设备运行的稳定性，减少故障恢复时间，提高供束效率。
- 继续推进加速器信息化运行维护工作，逐步建立基于大数据的运行维护质量保证体系。
- 利用现有机器条件，为二期工程加速器升级做好预研工作。

谢谢大家!

