

# 实验工艺系统 运行总结

何宁、梁辉宏、姚从菊  
林雄、范霖、刘宇

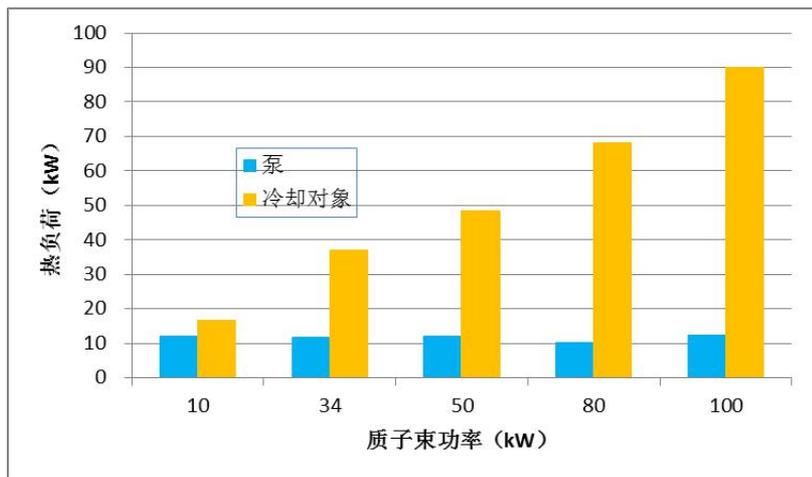
2020. 10



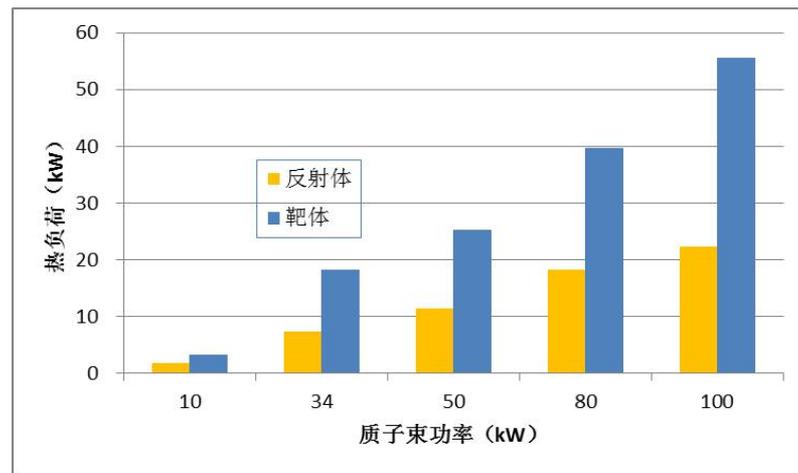
## 靶站水冷却系统运行总况

- ▶ 系统累计工作时间达15000小时
  - 热工参数。压力、温度及流量等符合要求，动态平衡，无超限偏离；
  - 压力边界完整，失效风险低；
  - 水化学。电导率维持在 $0.04-0.08 \mu\text{s/cm}$ ，水质较好；
  - 消氢。氢氧分离与自动排放稳定可靠，氢气介于1%-4%的安全浓度；
  - 介质消耗。重水系统、轻水系统1主要为氢氧分解与排氢消耗，轻水系统2冷却对象存在低泄漏；

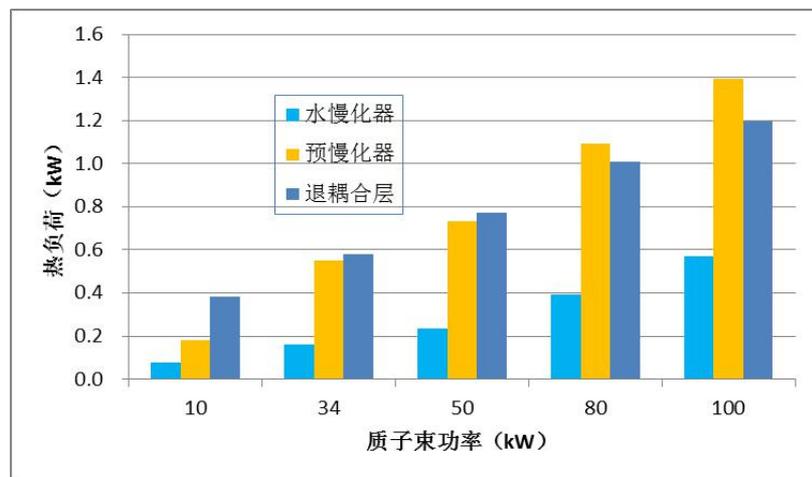
# 热工分析



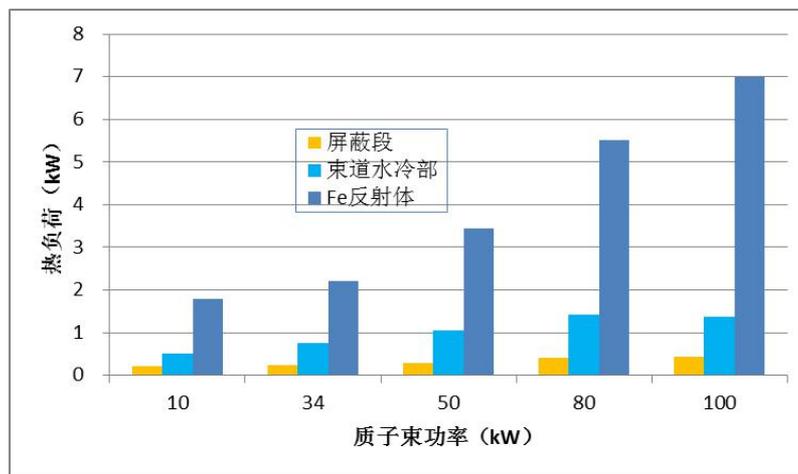
系统热负载与功率关系



重水冷却对象热负载与功率关系



轻水1冷却对象热负载与功率关系



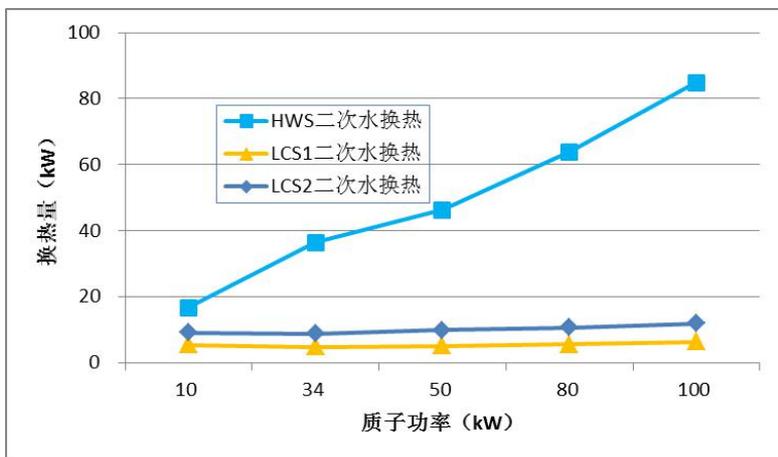
轻水2冷却对象热负载与功率关系

## 热工分析（续）

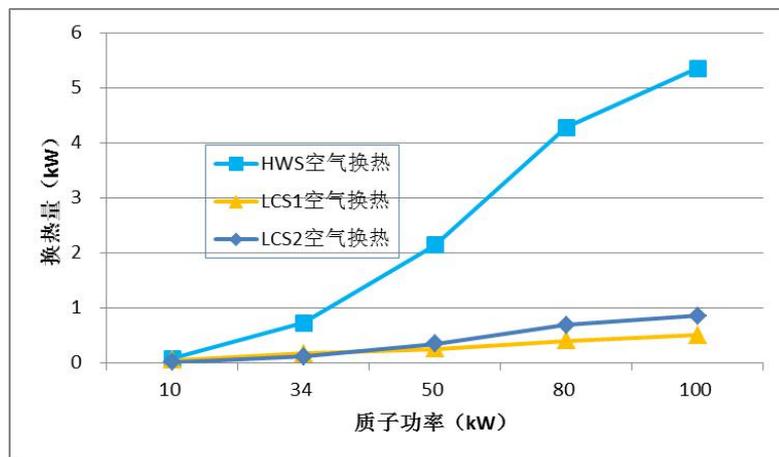
- 系统换热
  - 空气换热为6%
  - 二次水带走热量为94%

- 空气换热Q为5.35kw
- 换热系数
- 平均水温为29.85℃
- 环境温度为23℃
- 温差 $\Delta t=6.85^{\circ}\text{C}$

$$\text{换热系数 } k: k = \frac{Q}{A\Delta t} = 24.3\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$$



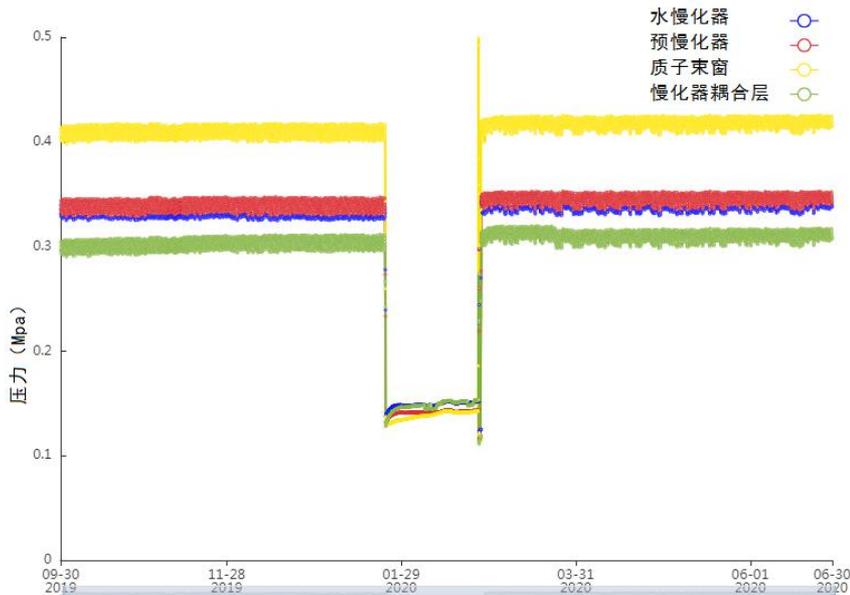
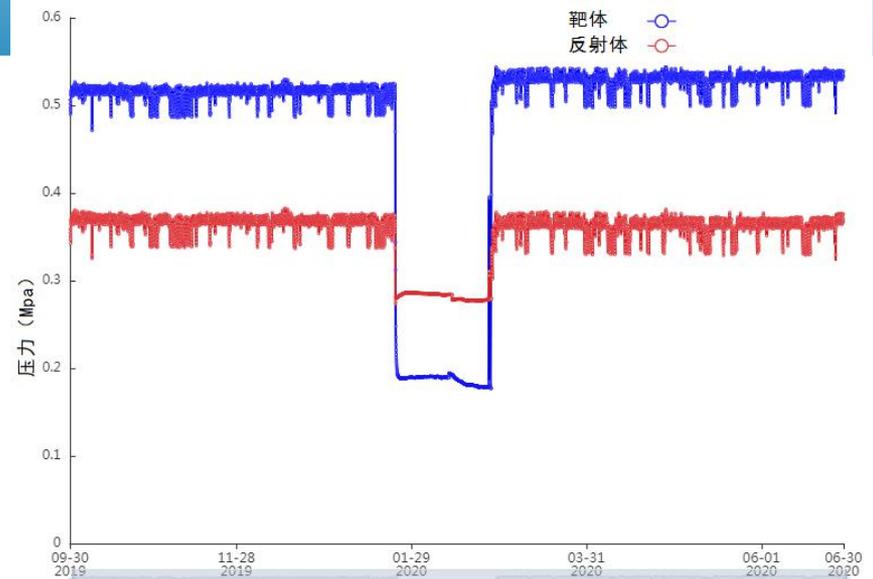
二次水换热分析



空气换热分析

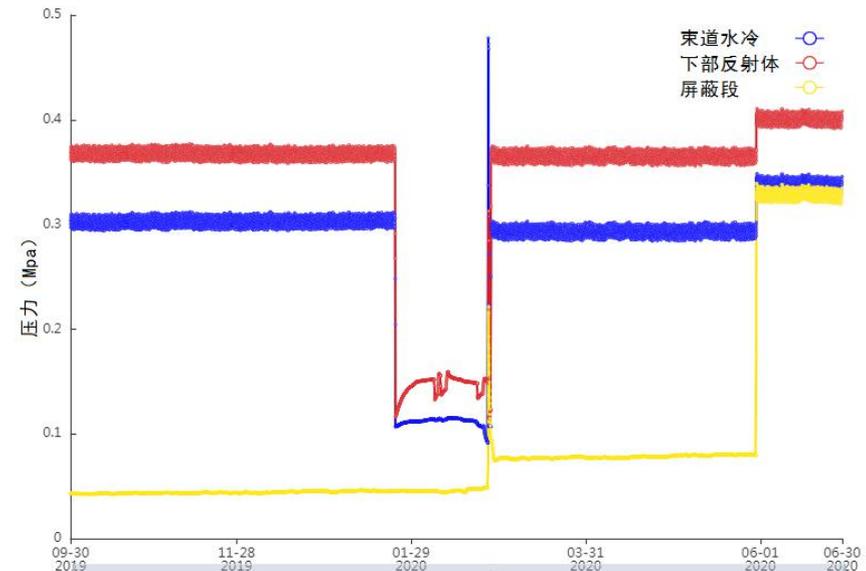
# 靶站水冷却系统压力

散裂中子源



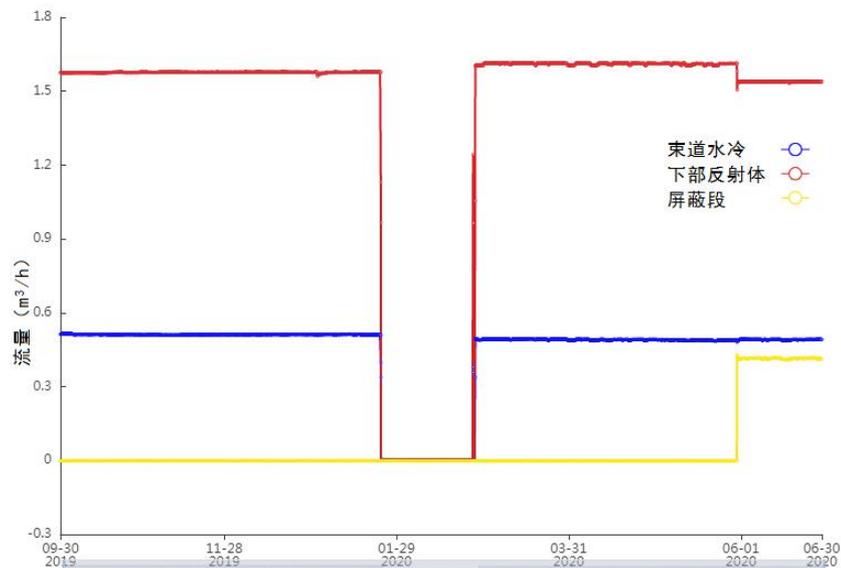
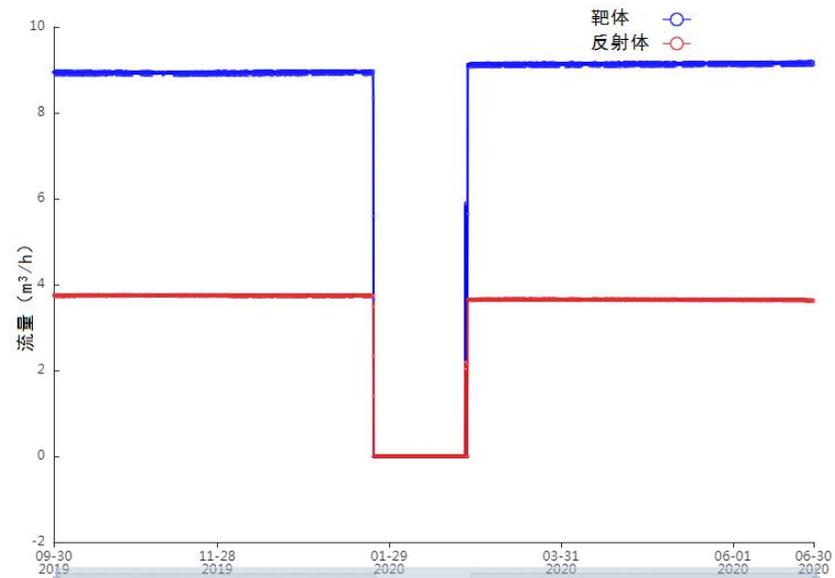
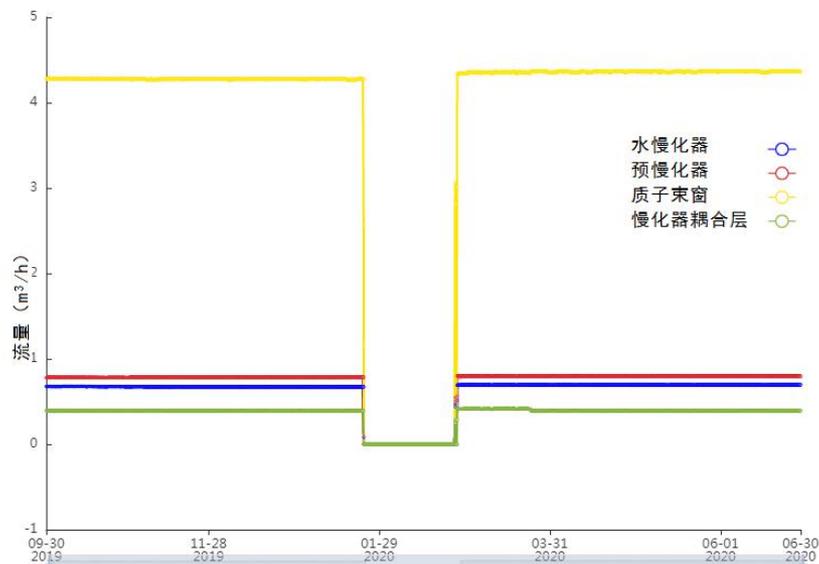
轻水系统1冷却对象压力

## 重水系统冷却对象压力



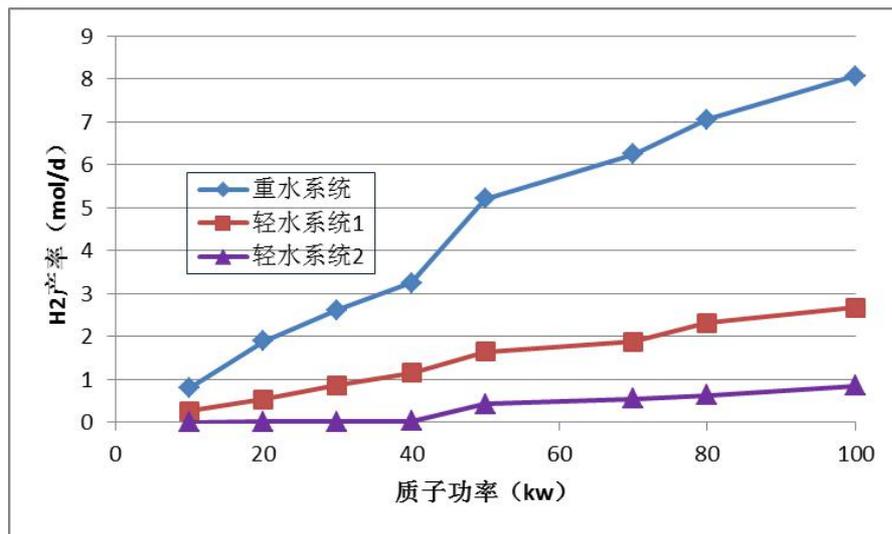
轻水系统2冷却对象压力 Page 5

# 靶站水冷却系统流量

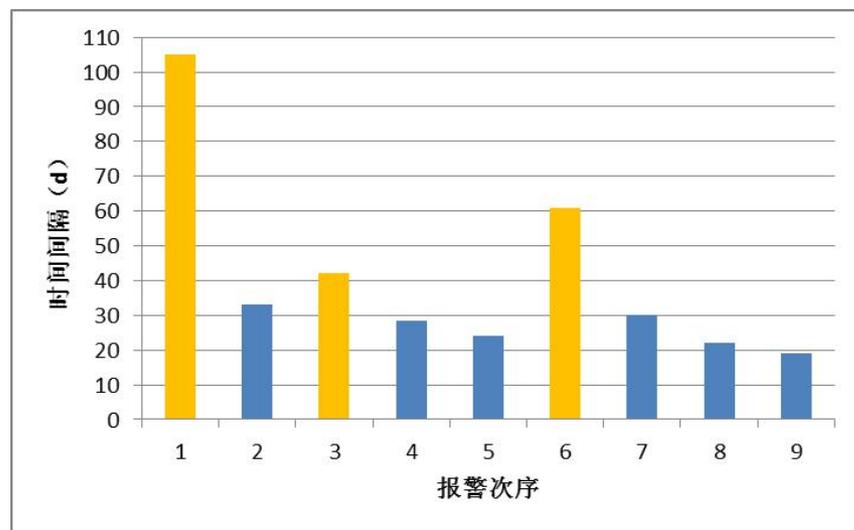
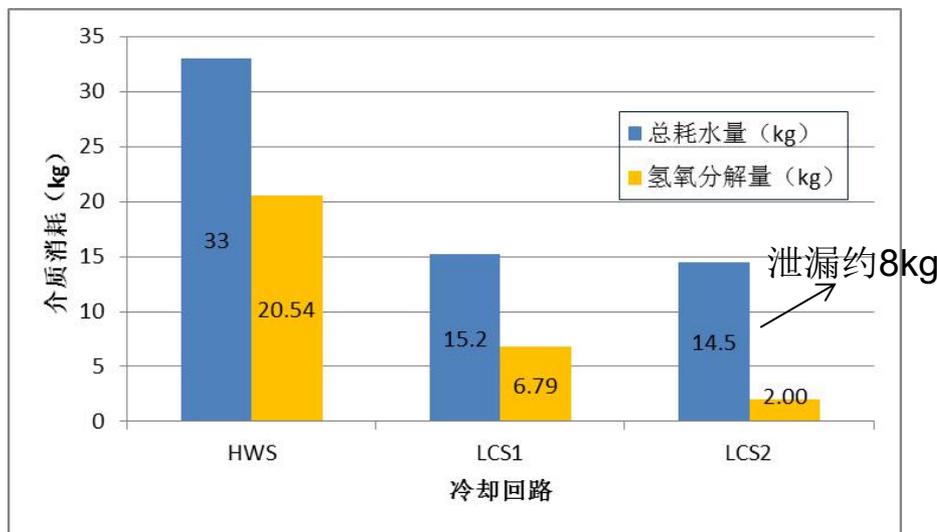


# 介质衡算

- 总介质消耗约63kg
- 氢氧分解29.3kg
- 排氢25.4kg
- 氦容器可控泄漏约8kg



质子束功率与H<sub>2</sub>产率关系



轻水系统2报警时间间隔

# 水质检测

样品名称	元素浓度 (mg/L)				
	Be	Fe	Ta	W	Al
轻1-1-1#	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	—
轻1-1-2#	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	—
轻2-1-1#	N.D.	N.D.	—	—	N.D.
轻2-1-2#	N.D.	N.D.	—	—	N.D.
重1-1#	N.D.	0.048	—	—	N.D.
重1-2#	N.D.	N.D.	—	—	N.D.

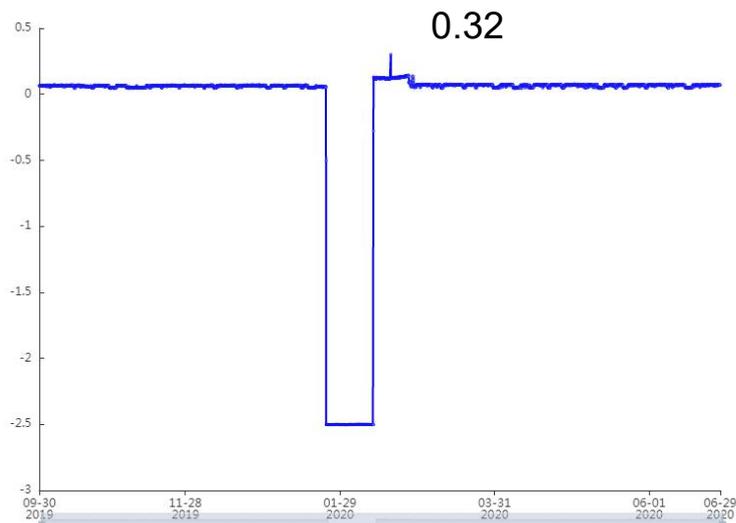
N.D.表示结果小于检出限0.005mg/L.

## 水质情况 (2019.9至2020.7)

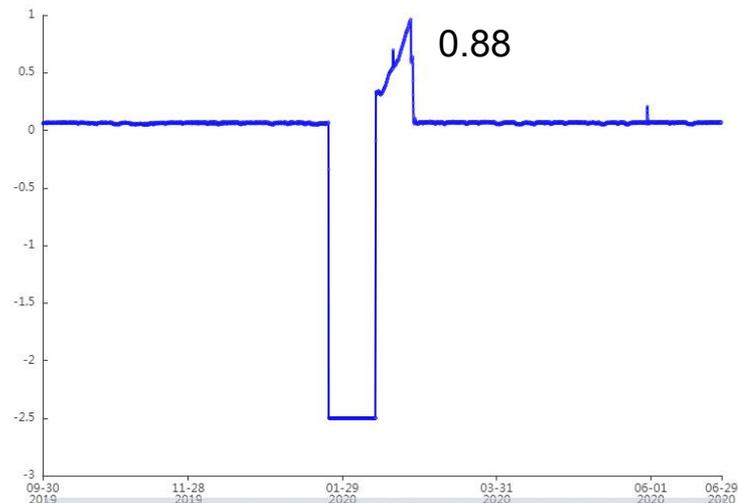
- ▶ 停机时电导率上升, 轻水系统2最为明显
- ▶ 系统启动后降到 $0.06 \mu\text{S}/\text{cm}$



轻水系统1电导率 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )



重水系统电导率 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )



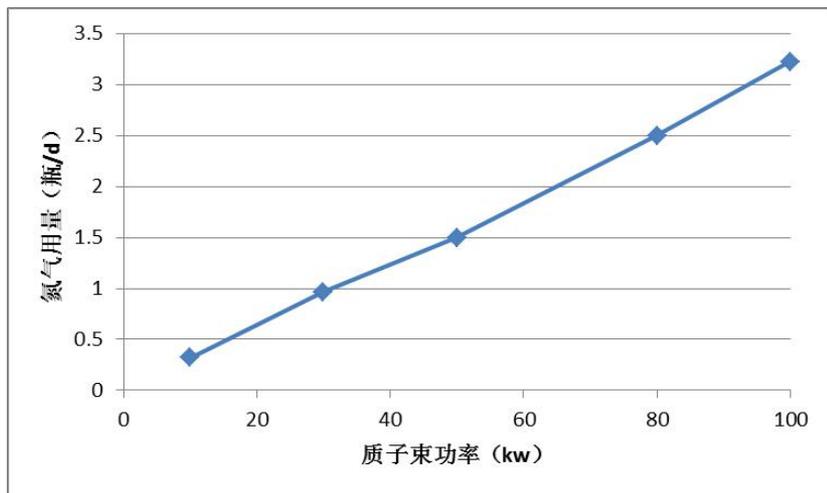
轻水系统2电导率 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

## 氮气消耗

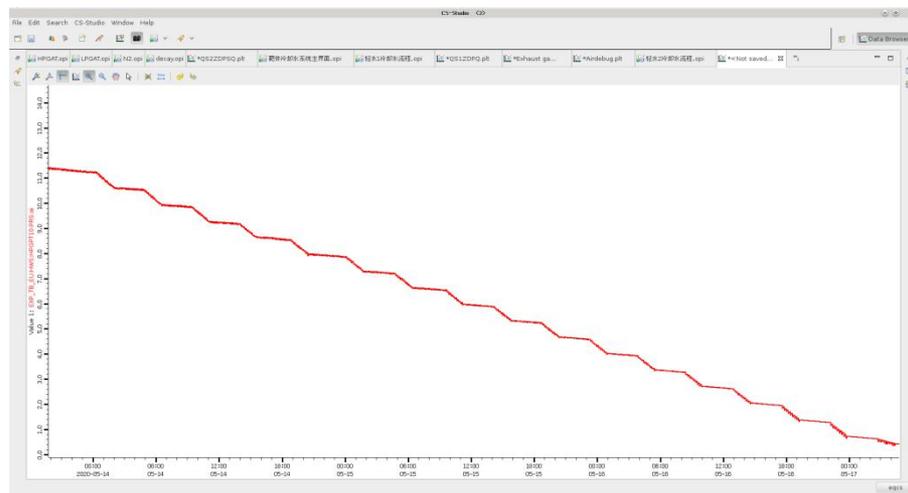
- 氮气放置在地下室走廊，12x6氮气瓶
- 2019年9月至2020年7月消耗氮气576瓶
- 更换不便，接头易发生泄漏，发现10余处泄露；
- 氮气用量较多，计划改造为液氮集中供气



给气系统现状



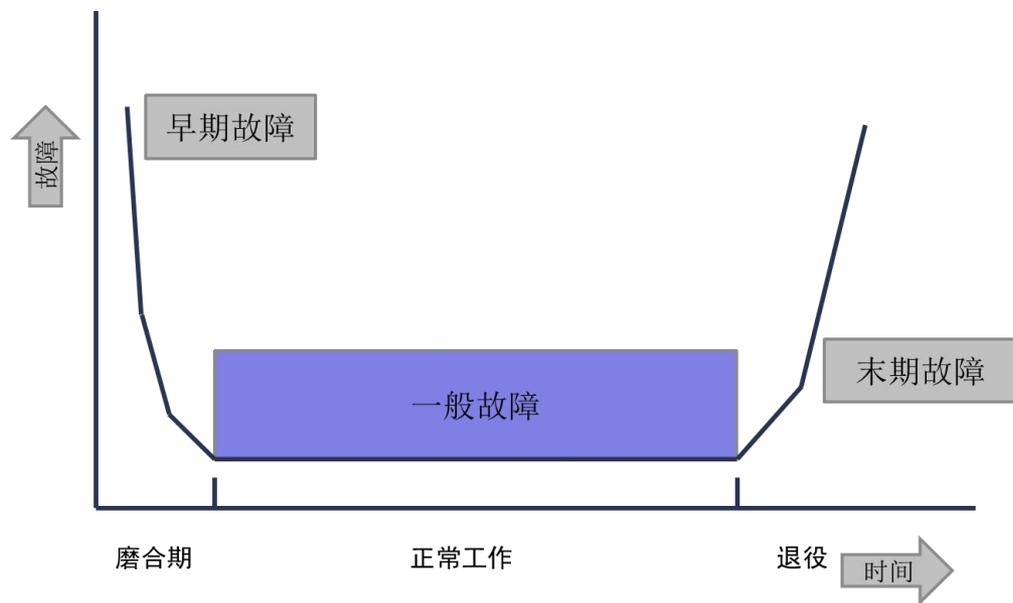
氮气用量与功率关系



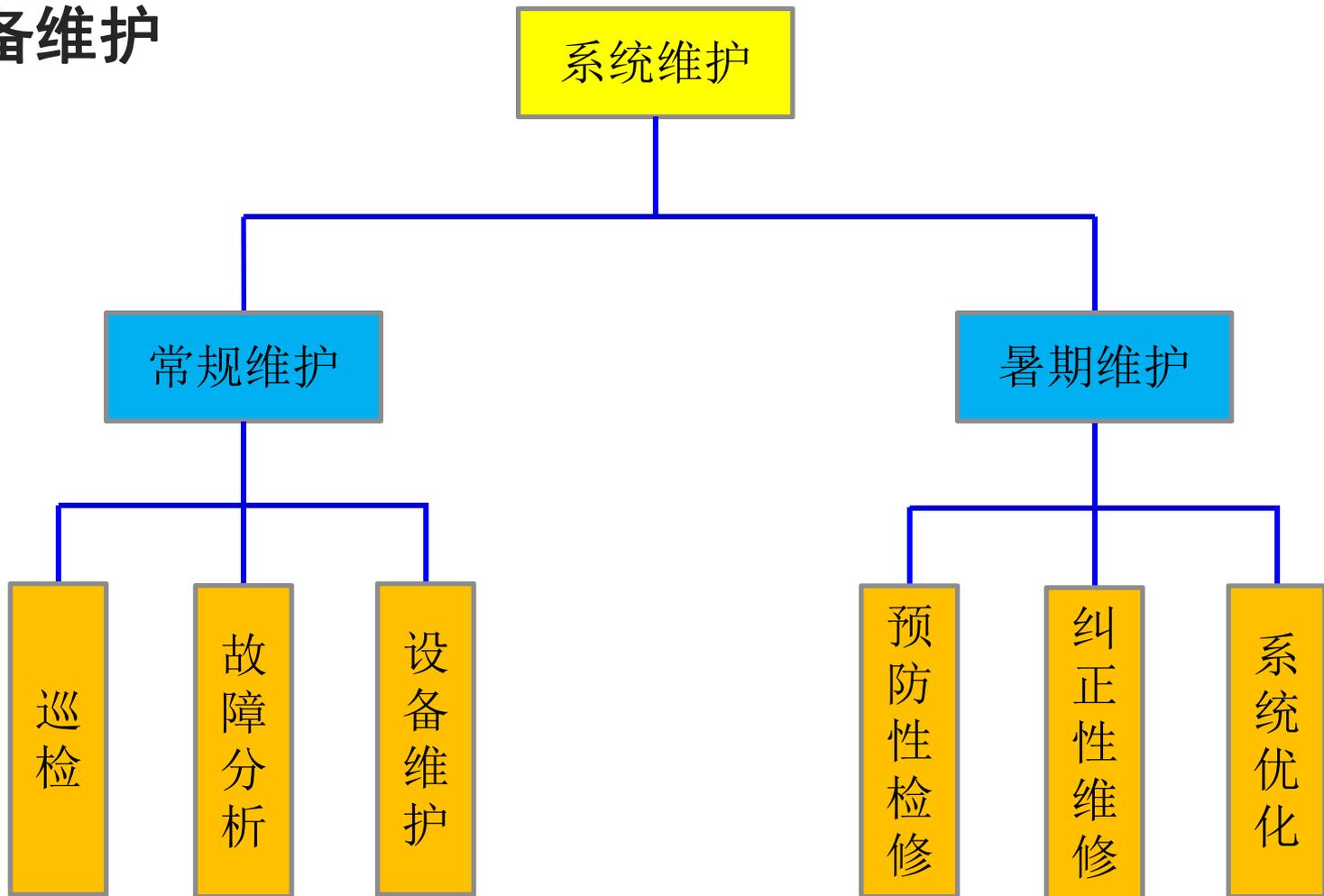
气压稳定变化

## 维护总况

- 一般故障区工作，无故障机时
- 故障报警共13次，为辅助系统问题
- 部分设备接近或达到末期故障期，阀门、泵等
- 在今年维护后，设备漏率由 $10^{-5}\text{pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ 提高至 $10^{-8}\text{pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$
- 气体系统及设备进行优化，更加稳定。



# 设备维护



## 设备维护

设备	数量	维护	更换
屏蔽泵	6	水力曲线、振动、温度及噪声检测	1台重水泵A, 止用轻水泵A
压缩机	4	密封、振动及噪声检测	密封件1个
换热器	3	氦检测试, 剂量测量	
压力容器	9	PT、声发射、压力试验, 质监局监管	
压力容器	9	PT、超声、标定仪表, 中核	安全阀6台
净化设备	12	打压氦检, 剂量检查	三台离子交换器
电动调节阀	28	10个阀门调料部分失效, 2个阀杆截断, 3个阀杆卡死	更换4个阀门
气动阀	6	3台阀门气动头泄漏, 维护恢复	密封组件3个
手动截止阀	223	标定, 压力试验及氦检测试	
仪表阀	280	标定, 压力试验及氦检测试	更换阀芯
压力变送器	67	61个超出测量精度劣于0.25%	
流量计	26	压力试验及氦检测试	
液位计	6	标定, 压力试验及氦检测试	增加3台液位计
色谱仪	2	标定, 排水及拷机	色谱柱、加热器
温度计	40	标定, 更换测量组件	陶瓷温度计

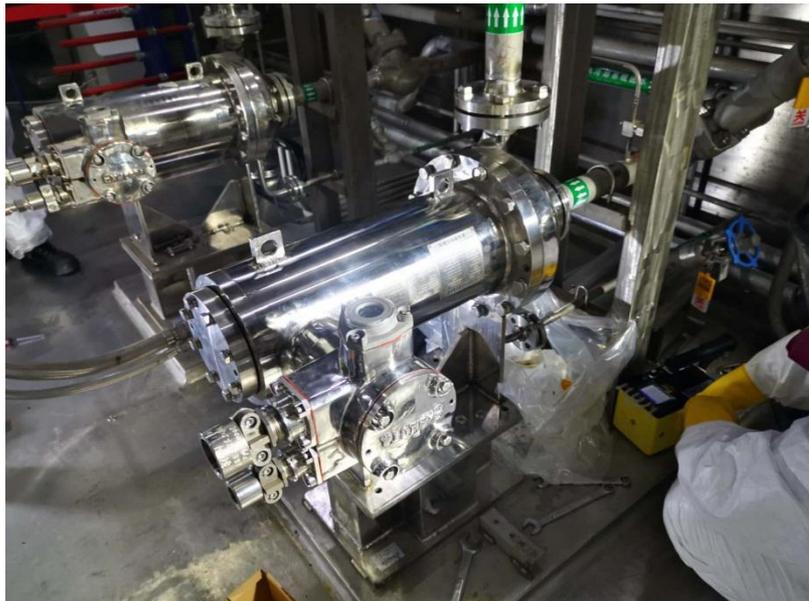
## 屏蔽泵维护

- 系统启停机时测量泵振动、噪声及电流等关键参数
- 泵表面剂量在2月突然增加
- 维护策略，整体更换
- 磨损及疲劳断轴无法定位检测

	振动值 (mm)	参考值 (mm)	噪音 (DB)	参考值 (DB)	电流 (A)	参考值 (A)
系统水泵						
重水泵A	0.02	≤0.5	78	≤84.8	23	≤33.5
重水泵B	0.015		78.5		23.5	
轻水1水泵A	0.03	≤0.5	77.6	≤81.5	13.8	≤16.5
轻水1水泵B	0.024		75.5		13.5	
轻水2水泵A	0.02	≤0.5	79.5	≤81.5	11.5	≤13.8
轻水2水泵B	0.03		78.5		12.5	

## 屏蔽泵维护（续）

- 今年2月份停止使用三台A泵；使用时间已达10000h
- 重水泵A已更换，轻水1泵A、轻水2泵A作为备用，备用泵到位后在更换
- 泵吹扫干燥不彻底，更换时存在内气氛吸入问题
- 旧泵30cm位置剂量 $6.5 \mu\text{Sv/h}$ ，放在辐射防护楼
- 备泵制造时间较长，尽早采购



## 换热器检查

- 检查项目：剂量检测、压力试验及氦检漏
- 2020年3月份剂量突然增加，随时间增长
- 轻水系统2换热器漏率略降
- 剂量较高，难以清除放射性杂质后转移至原厂维修，计划采购备件

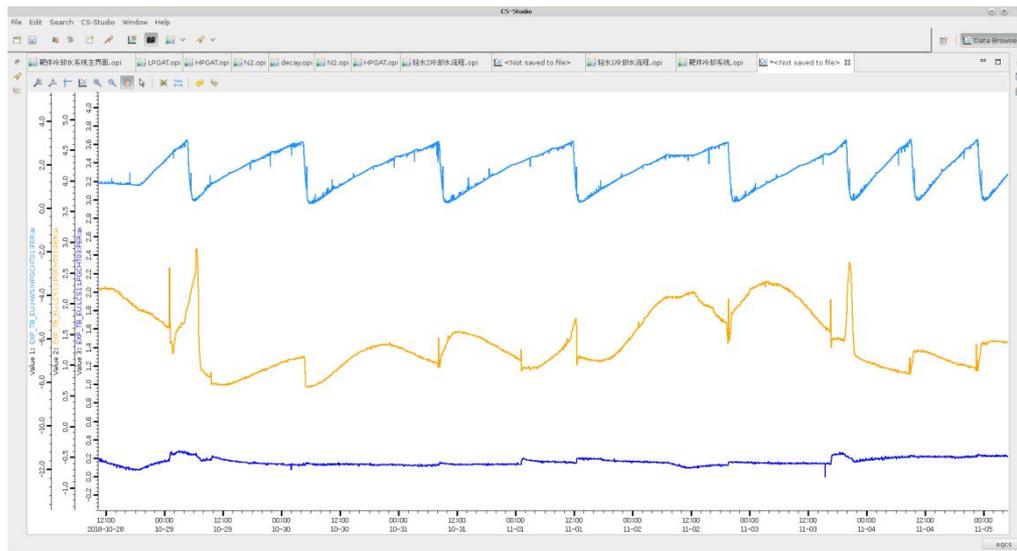
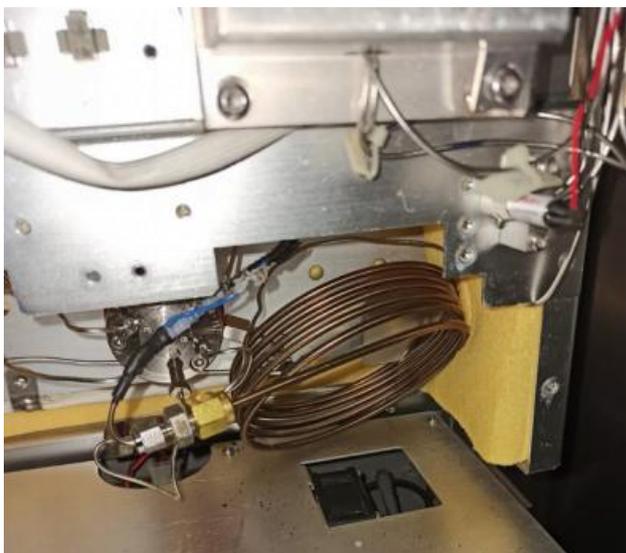
## 净化设备维护

- 树脂常规降解。氧化降解 $>15\%/a$ ，树脂机械磨损约 $5\%/a$
- 重水离子树脂Fe中毒，氧化性强
- 剂量测量, 3月份剂量变化
- 参照SNS及ISIS经验

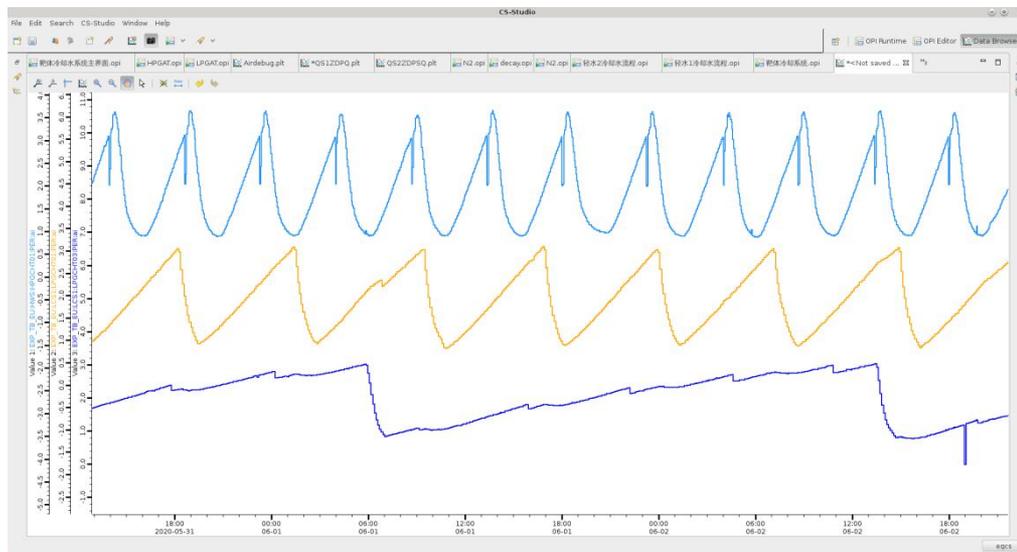


# 色谱仪维护

- 测量积分漂移，定期校准
- 色谱柱吸水原因引起的测量噪声，定期拷机
- 定期更换色谱仪色谱柱和加热器
- 定期检查排水
- 增加驱动气报警



测量曲线



测量曲线

## 阀门维护

- 阀门故障**18**台，故障率较高
- 氮气回路**2**台电动调节阀达到设备末期故障，阀杆折断

所属系统	位号	故障类型	数量	原因
轻水1冷却系统	LCS2V06A/B	填料部分失效	2	磨损及老化
轻水2冷却系统	LCS2V06A/B, LCS2V10	填料部分失效	3	磨损及老化
重水保护气系统	HPGV01A/B	阀杆卡死	2	阀杆磨损
	HPGV05/06	填料部分失效	2	磨损及老化
	HPGV14A/B/C	气动装置漏气	3	老化
轻水保护气系统	LPGV05A, LPG V01B	阀杆拉断	2	阀杆磨损
	LPGV01A	阀杆卡死	1	阀杆磨损
	LPGV05B, LPG V06A/B	填料部分失效	3	磨损及老化

## 阀门维护（续）

- 阀门型式优化。4个氮气进气调节阀改为隔膜阀
- 优化填料密封件，增加丁晴橡胶密封
- LPGV05A阀杆断裂，阀座变形，维修不能解决问题，采购备件后在更换



阀门更换



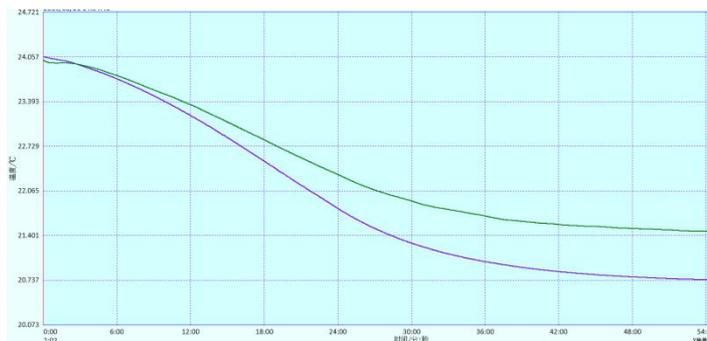
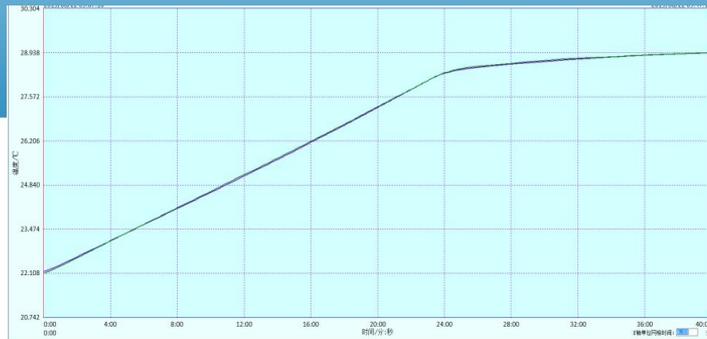
阀门失效填料更换



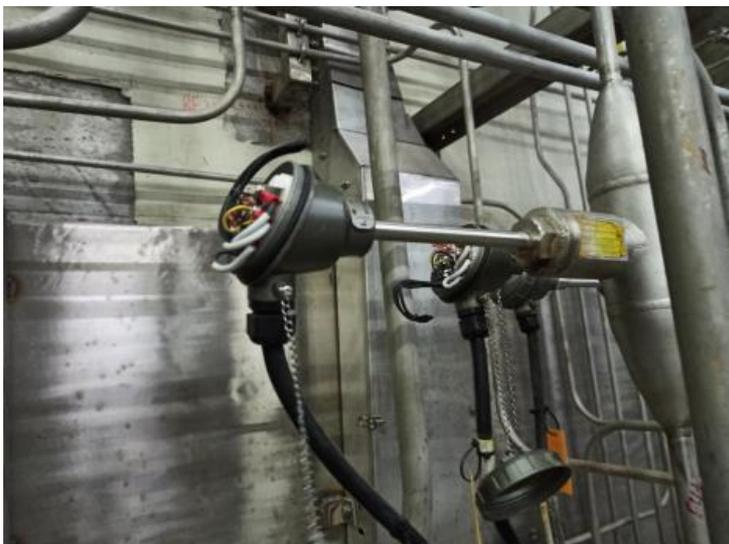
# 温度计标定与更换

## ► 标定温度计

- 机械振动。铠装温度计与套管接触间隙问题
- 绝缘电阻问题。保护管与引线绝缘失效
- 机械变形。陶瓷温度计变形导致热滞效应，更换18台
- 更换18个陶瓷温度计



测量曲线



温度计



测温组件

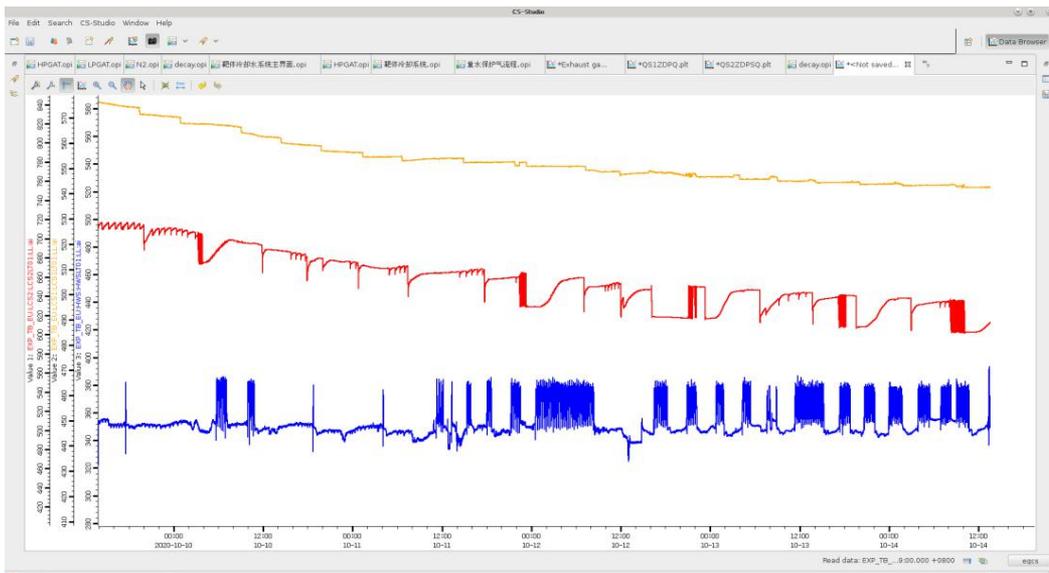
## 压力变送器校准

- Measurement of flow, pressures, temperatures, conductivities etc. are crucial to the safe operation of the plant.
- The sensors have to work in high radiation fields. At ISIS the dose rate on the pipework in operation is  $\sim 0.5$  Sv/h
- Many modern commercial sensors incorporate advanced electronics.
- At ISIS pressure, flow and conductivity sensors have a life of about 2 years.
- Changing sensors is a routine maintenance operation but needs very careful design and planning.

Note: from Operational Experience of ISIS Water Cooling Systems

## 液位计维护

- 差压液位计存在尖峰问题，增加三台磁翻板液位计
- 解决目前差压液位计压力波动和测量不准的问题
- 磁翻板液位计，可以在辐照环境中持续稳定运行，并接入控制系统中监测。
- 磁翻板液位计不受工艺管道中其他因素影响，可以真实反应液位高度，现场在液位计上可以查看，后续持续监测液位情况。



液位计曲线



磁翻板液位计 Page 23

## 控制柜与开关柜维保

- 常规维护设备，检查开关柜与控制柜的可靠性
- 清洁所有部件表面灰尘、紧固螺丝、整理线缆、测量绝缘电阻
- 绝缘电阻大于500MΩ，符合规范要求



**检测报告**

工程名称		靶站水冷却系统开关柜控制柜维护保养						
检测日期		2020-07-28	检测条件		温度(℃)	30	湿度(%)	72
检测内容								
序号	设备名称及型号	安装位置	绝缘电阻(MΩ)	交流耐压试验(V)	时间(00:00)	电、手动分、合闸是否正常	失压脱扣装置	
1	低压断路器	LPS-AA01 低压柜 LPS 进线开关	1000	1	1	正常	/	
2	低压断路器	LPS-AA01 低压柜 LCS1-LP01A 柜水泵 A	1000	1	1	正常	/	
3	低压断路器	LPS-AA01 低压柜 LCS1-LP01A 柜水泵 B	800	1	1	正常	/	
4	低压断路器	LPS-AA01 低压柜 LCS2-LP01A 柜水泵 A	900	1	1	正常	/	
5	低压断路器	LPS-AA01 低压柜 LCS2-LP01A 柜水泵 B	800	1	1	正常	/	
6	低压断路器	LPS-AA01 低压柜 EPS 柜电源	1100	1	1	正常	/	
7	低压断路器	LPS-AA01 低压柜 备用开关 1	1000	1	1	正常	/	
8	低压断路器	LPS-AA01 低压柜 备用开关 2	1200	1	1	正常	/	
9	低压断路器	LPS-AA01 低压柜 备用开关 3	1300	1	1	正常	/	
10	低压断路器	LPS-AA01 低压柜 备用开关 4	1200	1	1	正常	/	
11	低压断路器	LPS-AA01 低压柜 备用开关 5	1000	1	1	正常	/	
12	低压断路器	LPS-AA01 低压柜 备用开关 6	1200	1	1	正常	/	
13	低压断路器	LPS-AA02 低压柜 LCS1-V06A 电动调节阀	1000	1	1	正常	/	
14	低压断路器	LPS-AA02 低压柜 LCS1-V06B 电动调节阀	800	1	1	正常	/	
15	低压断路器	LPS-AA02 低压柜 LCS1-V06C 电动调节阀	900	1	1	正常	/	

## 监控系统及控制台安装

- ▶ 在污水处理区、设备间、取样间安装摄像头，在电气间安装监控大屏，自由切换和控制摄像头。
- ▶ 远程查看设备及环境状态



# 压力容器检查

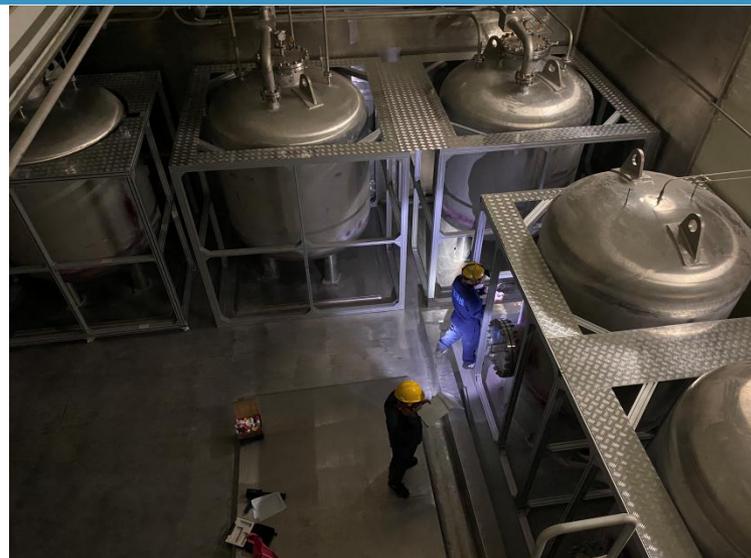
序号	名称	数量	监管方	检测项目
1	波动箱	3	IHEP	VT/PT/UT检查, 打压、氦检、仪表检查
2	缓冲罐	2	IHEP	VT/PT/UT检查, 打压、氦检、安全阀检查、仪表检查
3	冷凝器	3	IHEP	VT/PT/UT检查, 打压、氦检
4	加热器	2	IHEP	VT/PT/UT检查, 打压、氦检
5	凝冻器	1	IHEP	VT/PT/UT检查, 打压、氦检
6	净化设备	12	IHEP	VT/PT/UT检查, 打压、氦检
7	延迟罐	3	IHEP	VT/PT/UT检查, 打压、氦检
8	贮存罐	3	质监局	VT/PT/UT检查, 声发射, 打压、氦检
9	废水罐	3	质监局	VT/PT/UT检查, 声发射, 打压、氦检
10	衰变箱	3	质监局	VT/PT/UT检查, 声发射, 打压、氦检

## 压力容器检查（续）

- 自管设备检测结果符合要求
- 质监局报告还没最终给定

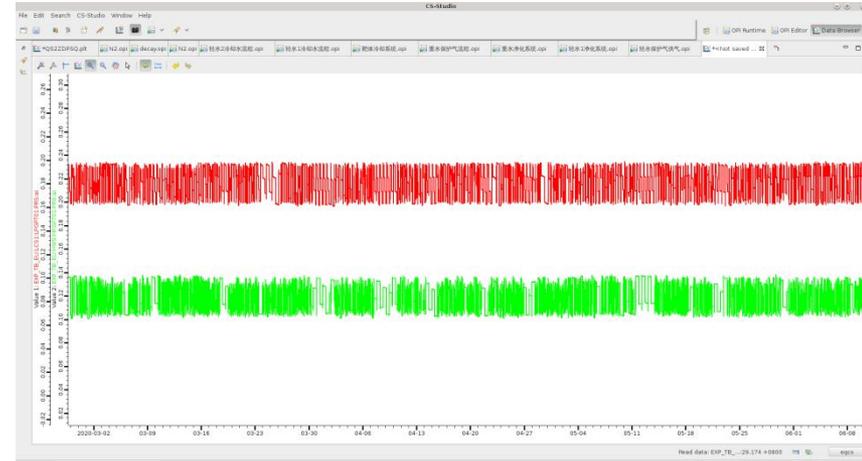
### 测厚结果

序号	设备名称	设备编号	结果单号	测量值 (mm)	
				最小值	最大值
1	缓冲罐	N215R1(L) -05	CSNS-NO.1-1	4.74	6.15
			CSNS-NO.1-2	4.70	5.03
			CSNS-NO.1-3	4.70	6.08
2	缓冲罐	N215R1(L) -06	CSNS-NO.2-1	4.71	6.14
			CSNS-NO.2-2	4.76	5.06
			CSNS-NO.2-3	4.83	4.92
3	LCS2 轻水波动箱	N215R2(L) -04	CSNS-NO.3-1	7.73	8.30
			CSNS-NO.3-2	7.75	8.11
			CSNS-NO.3-3	7.00	8.50
4	LCS1 轻水波动箱	N215R2(L) -07	CSNS-NO.4-1	7.63	8.30
			CSNS-NO.4-2	7.79	7.94
			CSNS-NO.4-3	7.54	8.31
5	重水波动箱	N215R2(L) -01	CSNS- NO.5-1	5.53	8.05
			CSNS- NO.5-2	5.55	5.84
			CSNS- NO.5-3	5.68	7.94
6	重水保护系统加热器	N215R1(L) -02	CSNS-NO.6-1	4.97	5.33
			CSNS-NO.6-2	4.88	5.64
7	重水保护系统加热器	N215R1(L) -03	CSNS- NO.7-1	4.92	5.40
			CSNS- NO.7-2	4.83	5.46
8	缓冲器（左侧）	/	CSNS- NO.8-1	4.25	7.27
			CSNS- NO.8-2	4.29	7.44
9	缓冲器（右侧）	/	CSNS- NO.9-1	4.14	7.26
			CSNS- NO.9-2	4.14	7.41



## 氮气系统优化

- 设备优化，更换阀门类型由电动调节阀为气动截止阀，解决阀门内漏问题，提高系统压力安全。
- 色谱仪驱动气。增加驱动气源，压力报警
- 手套箱氮气回路改造，消除在取样间放置氮气的危险。

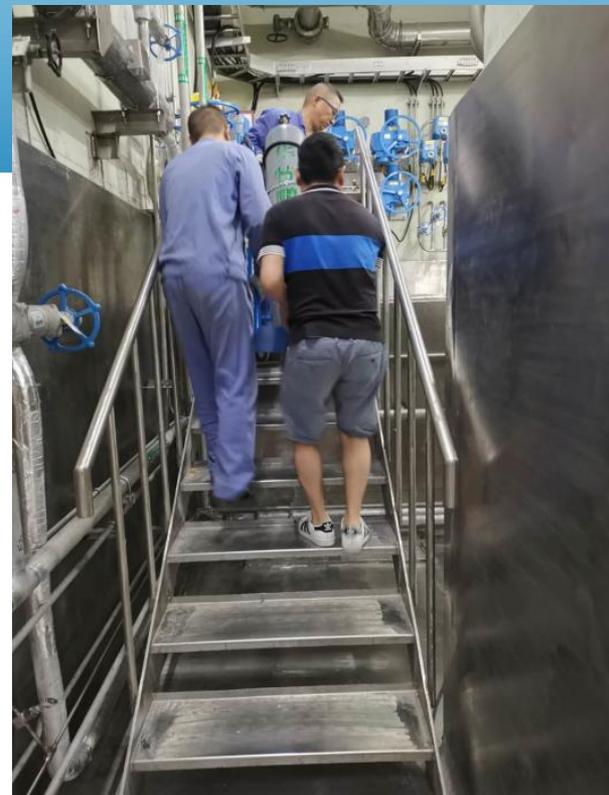


缓冲罐压力曲线图

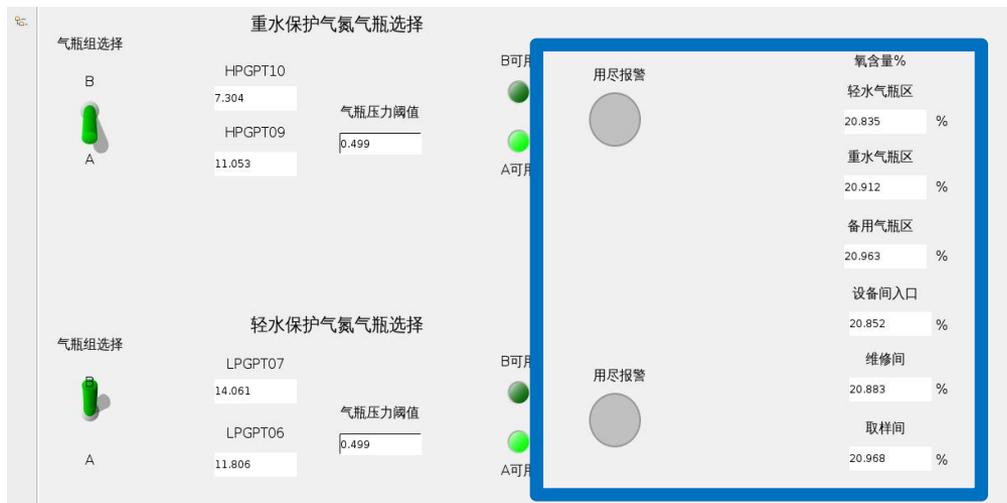


# 氮气系统优化（续）

- 增加设备吹扫及独立打压氦检管线
- 增加压力变送器校准管线，可不拆卸校准
- 增加气压紧急手动排放管线
- 改造真空管为冷却对象吹扫管线
- 增加环境氮气泄漏及氮气用尽报警



打压氦检改造前的状况



氮气泄漏报警



气路改造 Page 29

## 谱仪工艺改造

### ➤ SANS 工艺改造

- 通风系统改造，样品室气流组织不好、排风流量不能有效进行控制
  1. 风口布置优化：基于流场计算，整个房间的排风口设2个，样品室风口优化，2) 总管安装定风量阀
  2. 整个房间的空气龄最长时间约1490s，即25分钟换一次气，符合设计换气次数2次/h
  3. 水力计算：改造前后管路总压降分别为324Pa、169Pa，阻力显著下降
- 冷却水改造。改造冷却水以解决多个用水设备连接问题



散射室内管路施工



定风量阀安装



GPPD 挂机安装

## 谱仪散射室增加空调

- 设备冷却要求
- 根据散射室设备布置情况，选择合适的空调形式，SANS & MR：分体壁挂式，GPPD：分体壁挂式、风机盘管
  - 室外机位置：SANS、MR放在谱仪本地，GPPD放在西侧挡土墙内
  - 排水管：找合适的位置穿管，局部增设排水泵
  - 对冷凝水进行收集，为申请直排做准备



MR室内机、排水管安装



GPPD 挂机、排水管安装



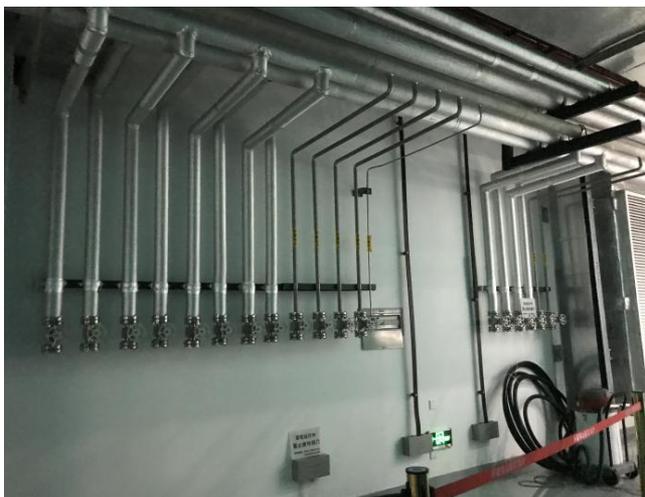
SANS 冷媒管安装



抽真空充制冷剂

## 接口管路改造

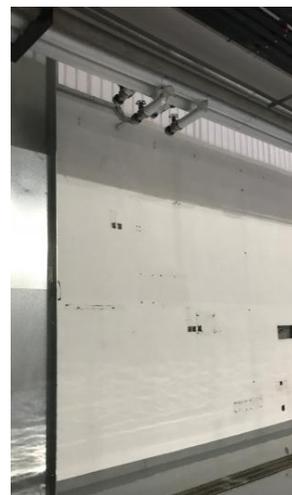
- 给谱仪预留工艺管道接口位置改造
  - 工艺设备循环冷却水、压缩空气管路接口位置往上提高，其中#8、#9接口管道中心标高与主管路齐平
  - 架空层各房间空调形式主要是水冷风机盘管，土建施工需从二层的冷冻水管道接管，为避免后期施工影响其他房间空调运行，完成接口阀门安装



改造前



改造后接口



#9改造后接口



## 重点问题

- 水冷却系统
  - 系统改造，增加自动泄压功能
  - 设备末期故障检测方法
  - 核心备件采购，泵、换热器、失效的阀门等
- 工艺
  - 一期三条谱仪增加水冷调节计量设备
  - 谱仪通风空调完善

*Thank you for your attention!*