

中子束线系统进展

敬罕涛、王鹏程、宁常军、于永积、李刚、何永成、
李强、任杰、李波、黄蔚玲、张利英

反角白光中子源工程中期检查会

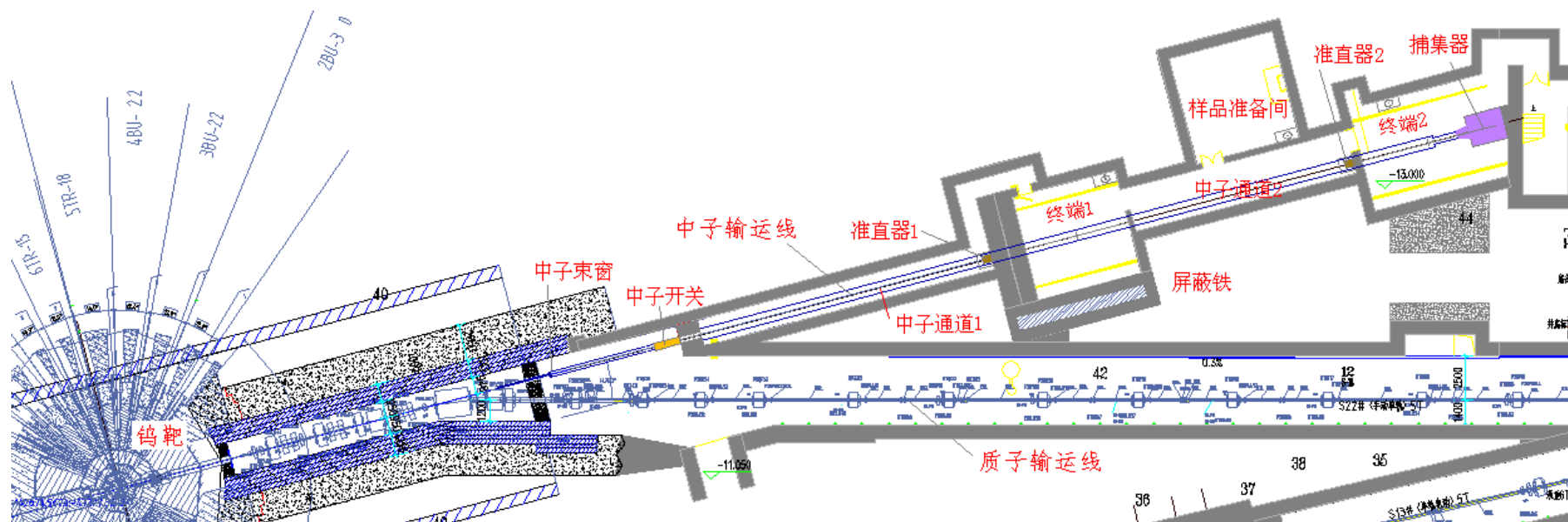
2015-6-27

主要内容

- 束线总体布局
- 物理设计方面的进展
- 中子束线工程建设
 - 束流准直系统进展
 - 真空系统进展
 - 辐射屏蔽及防护系统进展
 - 控制系统建设进展
 - 安装准直系统进展
- 束线建设计划时间表
- 总结

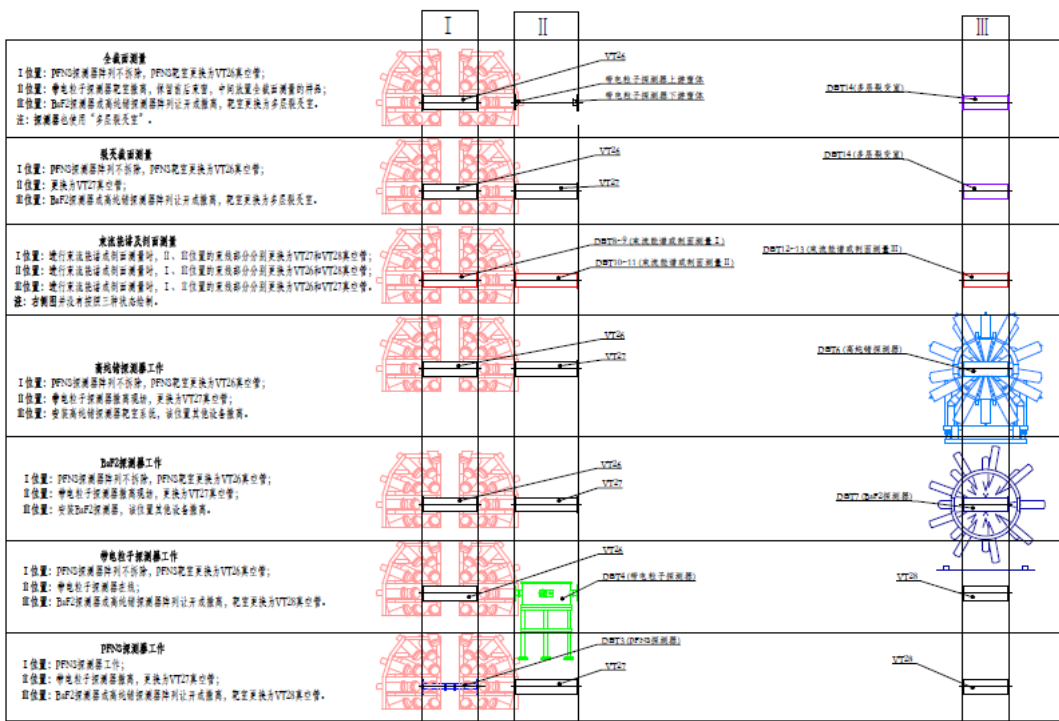
束线总体布局

反角白光中子束线布局图

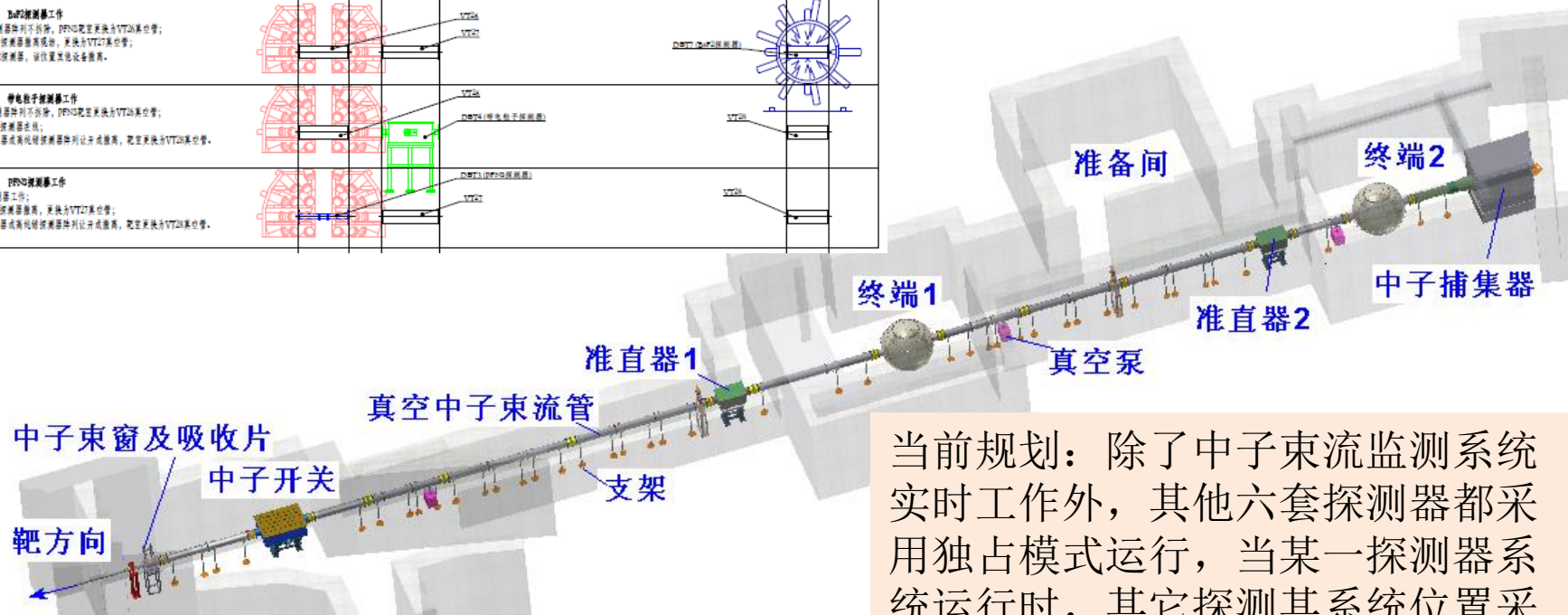


- 中子束窗：隔离RTBT质子真空（ 10^{-6}Pa ）和中子束线真空（ 10^{-4}Pa ）的气氛，位于中子束线最前端；
- 中子开关：阻断中子束流，以便实验人员进入隧道维护设备和开展实验，同时兼有中子束流准直器作用；
- 中子准直器（2台）：准直中子束流，对束斑尺寸起到准直的作用，分别位于两个实验终端前；
- 中子束线真空束流管：保持中子流运行所需的真空环境，总长约60m；
- 中子捕集器：位于中子束线的末端，吸收用过的废中子束流；
- 中子套管：放置在中子束流管内，增加对散射的杂散粒子吸收，降低厅内本底；

3D建模及实验更换模式



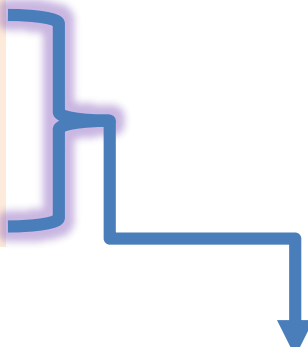
- 完成了中子束线3D建模, 3D建模为理清多个系统之间的关系和接口规范起到重要的作用。
- 规划了隧道内六套探测器系统运行方式;



当前规划: 除了中子束流监测系统实时工作外, 其他六套探测器都采用独占模式运行, 当某一探测器系统运行时, 其它探测其系统位置采用替代管取代, 保持束线真空环境。

物理设计方面的进展

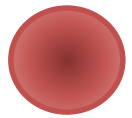
- 模拟计算散裂靶上反角中子束流的特性（能谱、流强、组份、时间分辨、束窗影响等等）（物理评审会上已经介绍）
- 通过优化开关和两台准直器孔径控制实验位置中子束流束斑
- 估算和控制实验厅内本底

- 
- 优化束斑的均匀性
 - 优化墙内套管的孔径
 - 优化降低30mm束晕尺寸
 - 优化和总结本底估算

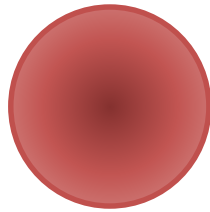
中子束流束斑要求

1. 终端2样品处束斑的均匀部分尺寸为三种： $\phi 30\text{mm}$ ， $\phi 60\text{mm}$ ， $90\text{mm} \times 90\text{mm}$ 。
2. 终端1束斑尺寸由准直器1孔径自然选择；
3. 束斑内中子密度尽可能均匀，束斑内外的下降沿尽可能都陡；

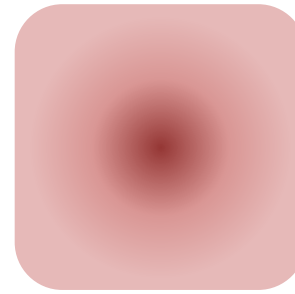
终端2样品处束斑尺寸



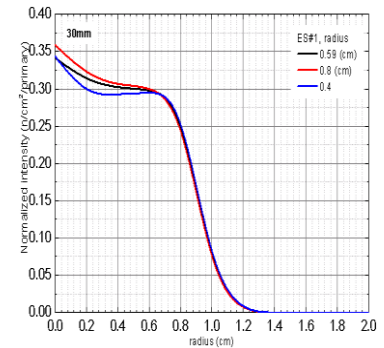
$\phi 30\text{mm}$



$\phi 60\text{mm}$



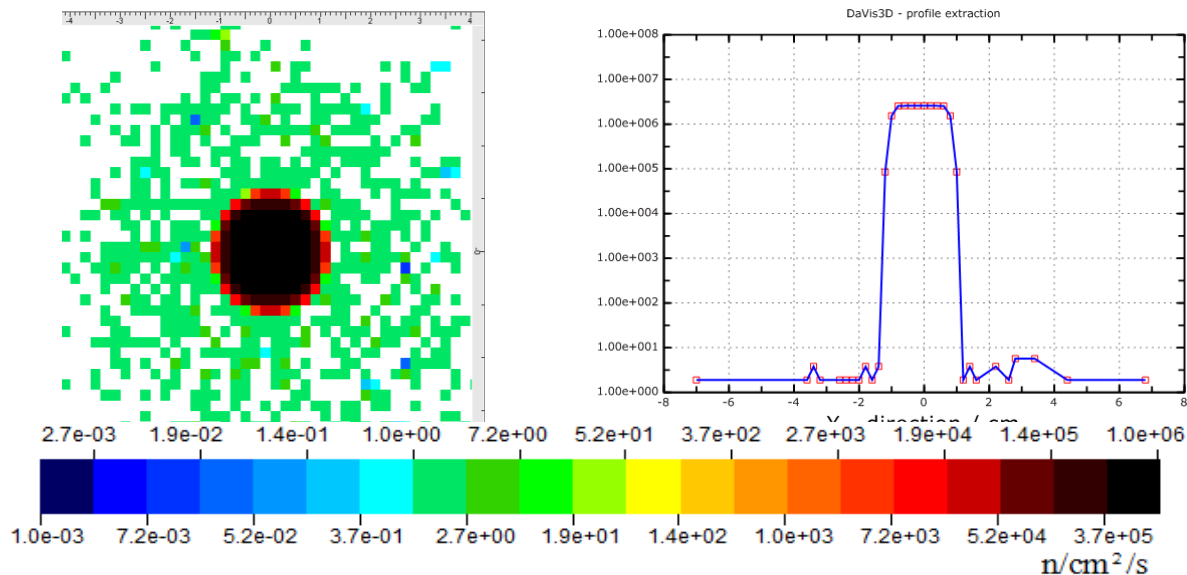
$90\text{mm} \times 90\text{mm}$



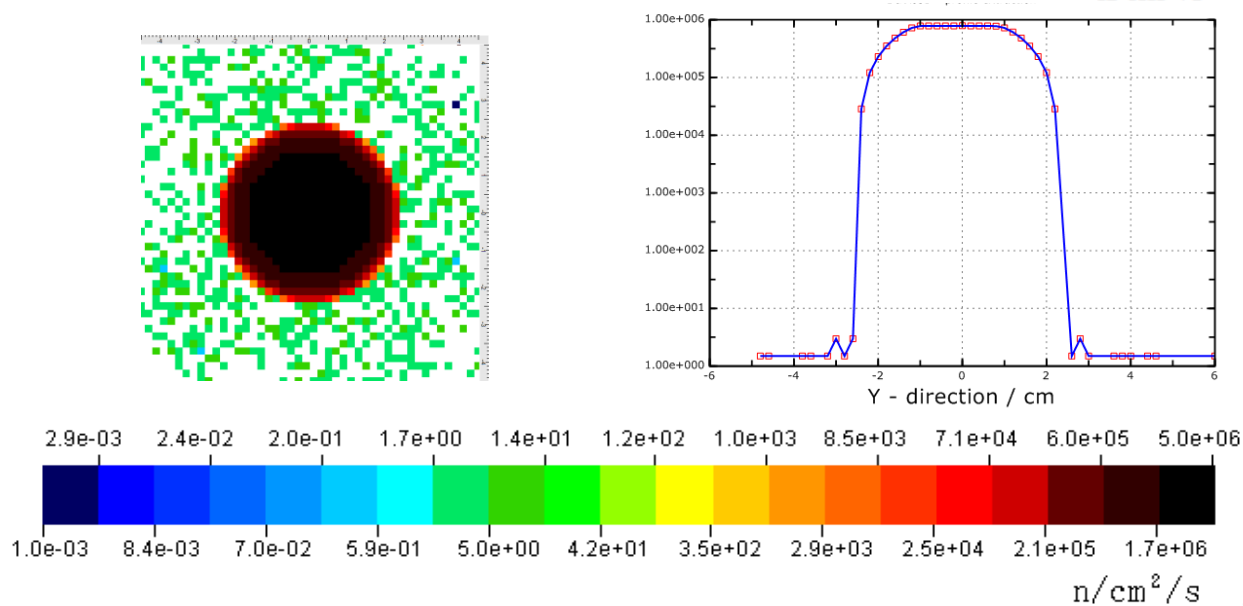
下降沿

- 先调节开关、准直器孔径得到近似的期望束斑尺寸，然后微调孔径优化均匀性和下降沿的陡峭度；
- 同时研究束流管内添加含硼聚乙烯套管，增加对束晕粒子的准直；

在 $\phi 30$ 束斑情况下模拟计算的束斑情况

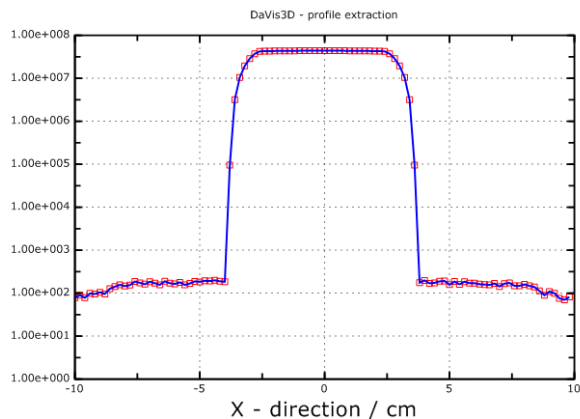
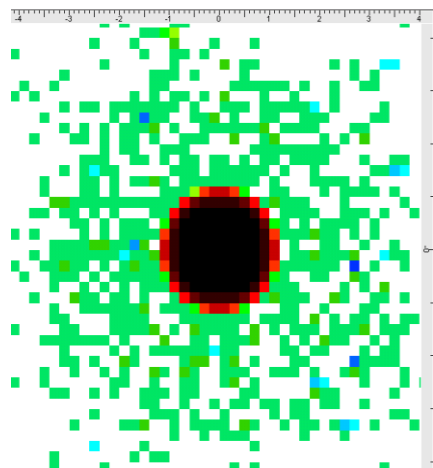


ES#1
束斑尺寸约为25mm

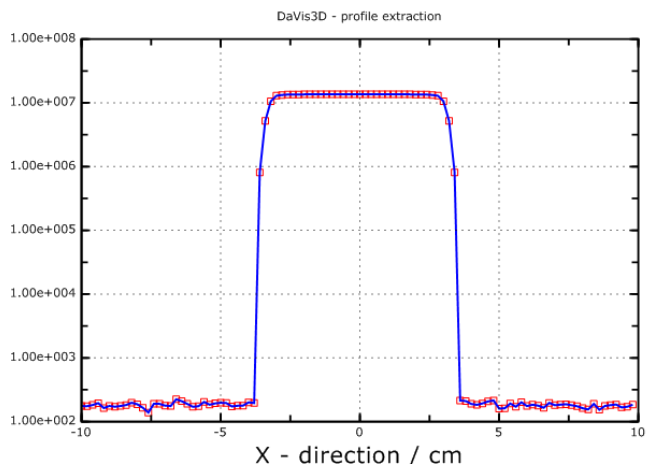
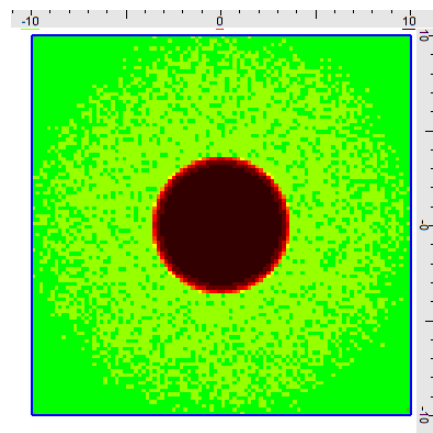


ES#2
束斑尺寸约为48mm

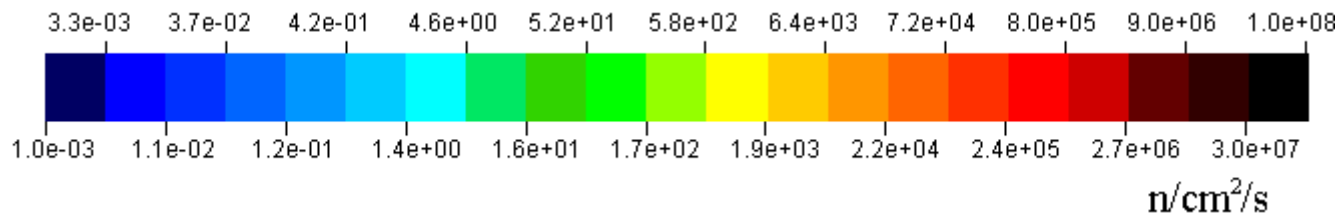
在 $\phi 60$ 束斑情况下模拟计算的束斑情况



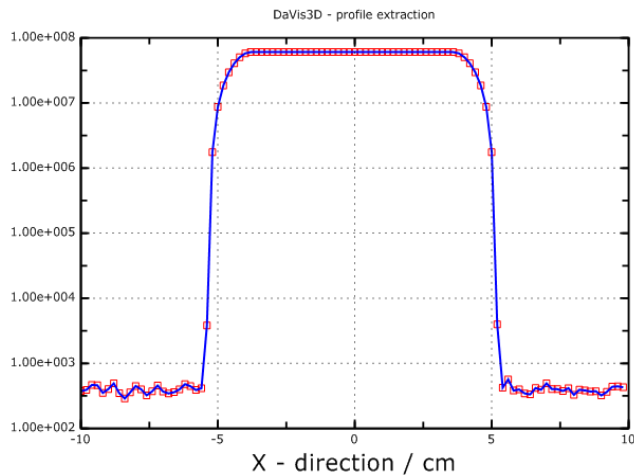
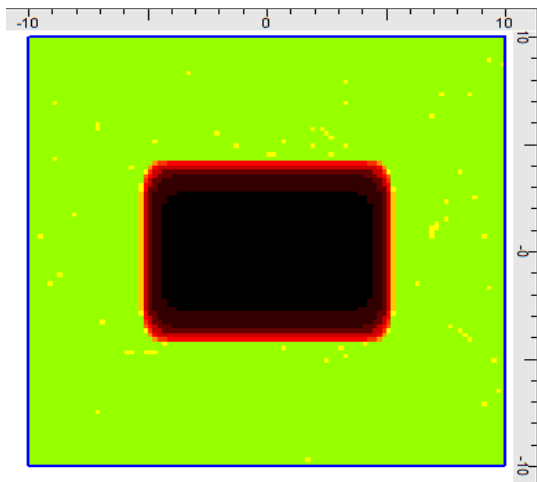
ES#1
束斑尺寸约为76mm (1#)
束斑尺寸约为84mm (2#)



ES#2
束斑尺寸约为72mm



在 90×90 束斑情况下模拟计算的束斑情况



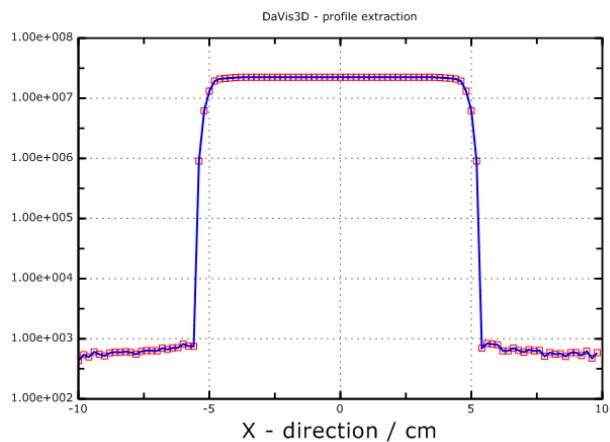
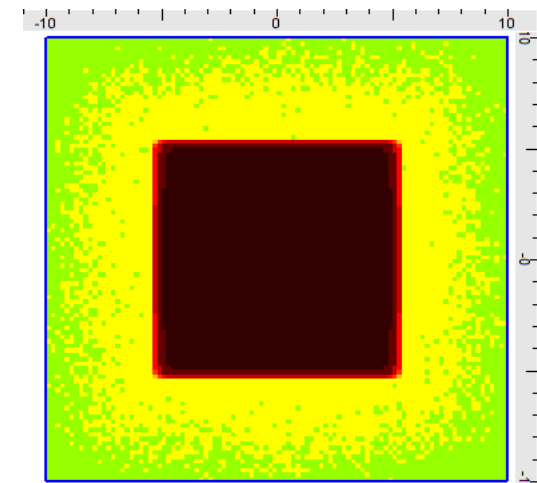
ES#1

束斑尺寸约为

$108 \times 84\text{mm}$ (1#)

束斑尺寸约为

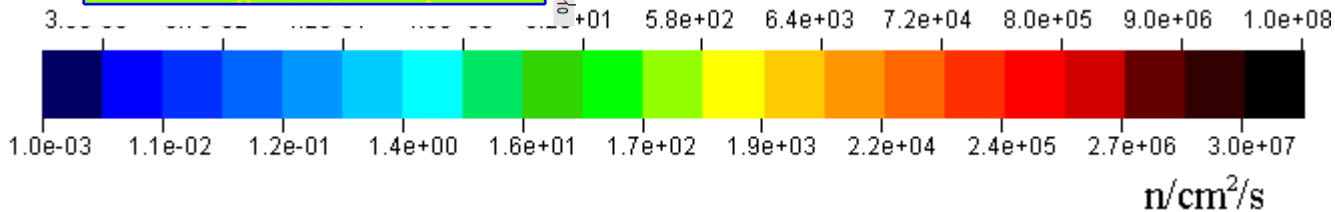
$120 \times 96\text{mm}$ (2#)



ES#2

束斑尺寸约为

$108 \times 108\text{mm}$



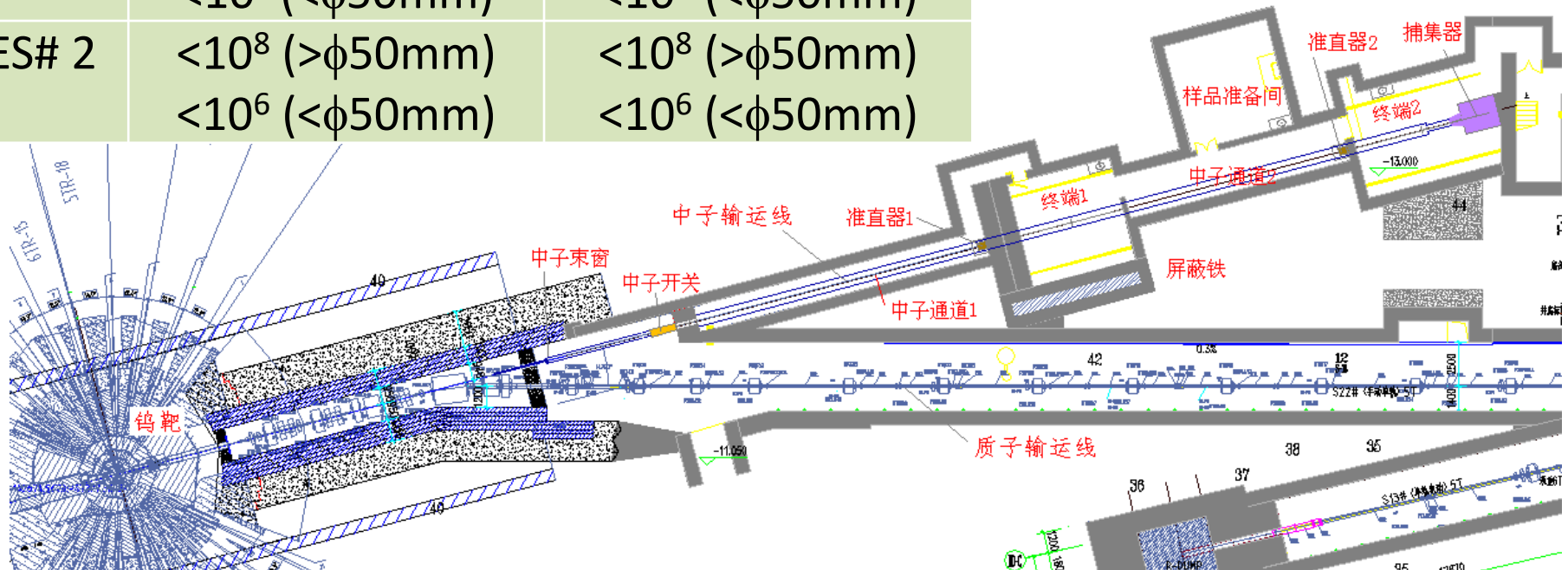
实验厅本底（中子和伽马）

- 终端1本底来源三部分：1) 前墙泄漏；2) 质子隧道束损；3) 准直器2背散射中子；
- 终端2本底来源两部分：1) 前墙泄漏；2) 中子捕集器泄漏及背散射；

Φ30mm情况下本底要求

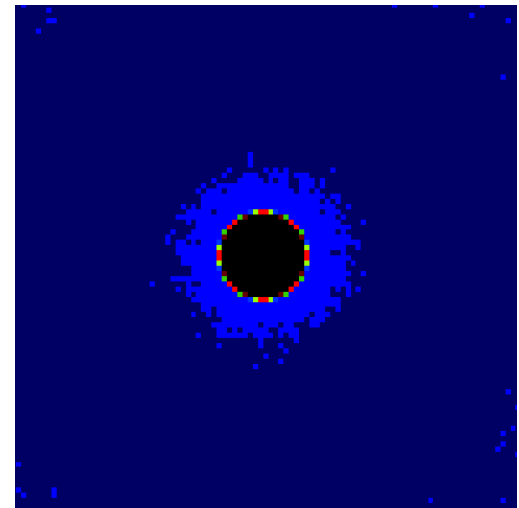
位置	Ratio [neutron]	Ratio [Gamma]
ES# 1	$<10^6$ ($>\phi 50\text{mm}$)	$<10^6$ ($>\phi 50\text{mm}$)
	$<10^4$ ($<\phi 50\text{mm}$)	$<10^4$ ($<\phi 50\text{mm}$)
ES# 2	$<10^8$ ($>\phi 50\text{mm}$)	$<10^8$ ($>\phi 50\text{mm}$)
	$<10^6$ ($<\phi 50\text{mm}$)	$<10^6$ ($<\phi 50\text{mm}$)

本底要求以φ30mm束斑情况下实验要求为准；



控制本底采取的措施

- 终端1前墙预留2米厚度；终端2前墙增加屏蔽厚度；
- 研究预留孔洞填塞材料和方法；
- 终端1内墙上增加含硼聚乙烯板屏蔽层，并分析高能中子本底与束流的时间关系；
- 终端1探测器系统运行时，准直器2选择较大孔径；
- 对中子捕集器做优化设计；

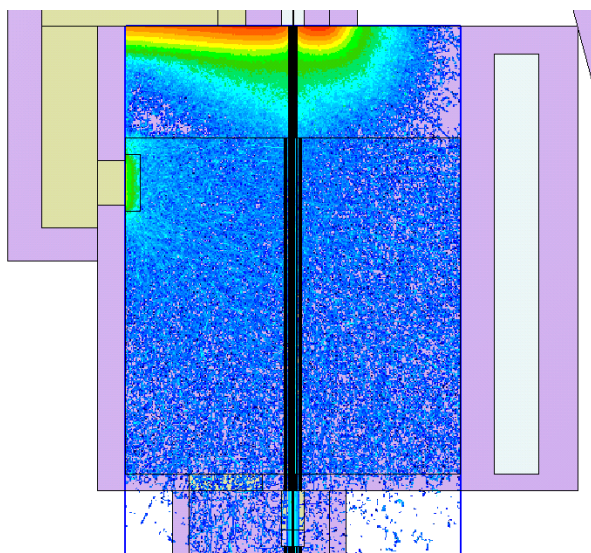


开关和准直器孔径确定

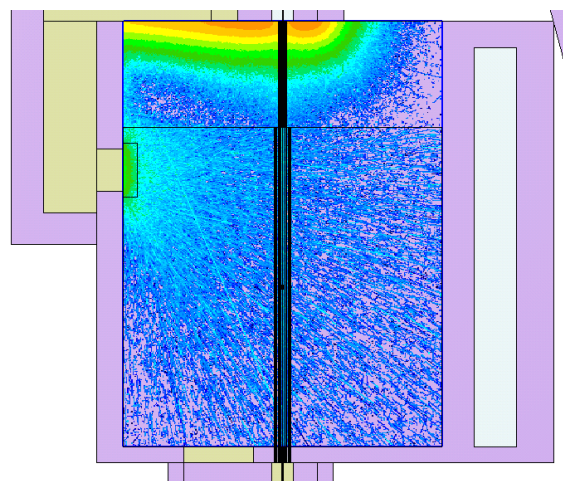
终端2内束斑尺寸 (平顶部分)	不定	$\phi 30\text{mm}$	$\phi 60\text{mm}$	$90\text{mm}\times 90\text{mm}$
开关孔径	$\phi 3\text{mm}$	$\phi 12\text{mm}$	$\phi 50\text{mm}$	$78\text{mm}\times 62\text{mm}$
开关后隔墙上束流管 孔径	$\phi 150\text{mm}$	$\phi 150\text{mm}$	$\phi 150\text{mm}$	$\phi 150\text{mm}$
开关后隔墙上套管内 径	无	无	无	无
准直1孔径	$\phi 15\text{mm}$	$\phi 15\text{mm}$	$\phi 50\text{mm}$	$76\times 76\text{mm}$
准直1后隔墙上束流 管孔径	$\phi 150\text{mm}$	$\phi 150\text{mm}$	$\phi 150\text{mm}$	$\phi 150\text{mm}$
开关后隔墙上套管内 径	$\phi 22\text{mm}$,长0.6m; $\phi 22\text{-}\phi 30$ 均匀过渡型 喇叭口,长1.4m	$\phi 22\text{mm}$,长0.6m; $\phi 22\text{-}\phi 30$ 均匀过渡型 喇叭口,长1.4m	$\phi 60\text{mm}$,长2m	暂无套管
准直器2孔径	$\phi 40\text{mm}$	$\phi 40\text{mm}$	$\phi 58\text{mm}$	$90\times 90\text{mm}$
准直2后隔墙上束流 管孔径	$\phi 150\text{mm}$	$\phi 150\text{mm}$	$\phi 150\text{mm}$	$\phi 150\text{mm}$
开关后隔墙上套管内 径	$\phi 45\text{mm}$,长1.2m; $\phi 45\text{-}\phi 52$ 均匀过渡型 喇叭口,长0.8m	$\phi 45\text{mm}$,长1.2m; $\phi 45\text{-}\phi 52$ 均匀过渡型 喇叭口,长0.8m	$\phi 62\text{mm}$,长1.2m; $\phi 62\text{-}\phi 74$ 均匀过渡型 喇叭口,长0.8m	暂无套管
100 kW情况ES#1 下中子流强 ($\text{n}/\text{cm}^2/\text{s}$)	1.53E5	2.20E+06	4.33E7	5.98E7
100 kW情况ES#2 下中子流强 ($\text{n}/\text{cm}^2/\text{s}$)	4.57E4	7.81E+05	1.36E7	2.18E7

终端1在 $\phi 30$ 束斑情况厅内本底情况

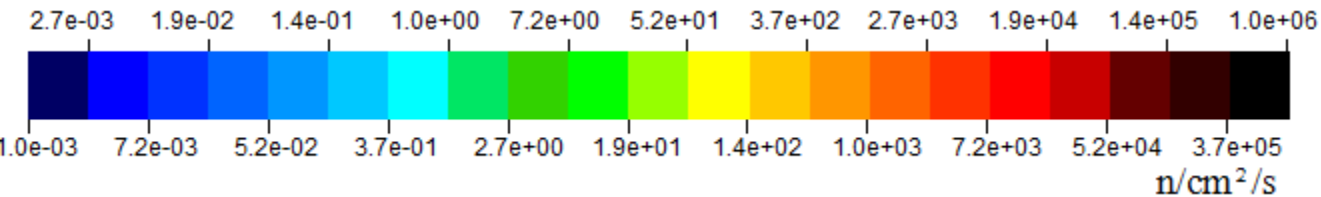
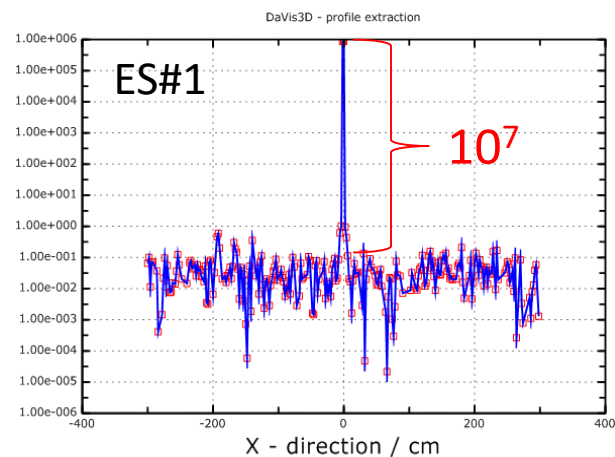
- 两个厅的本底和束斑都在按照新的准直器孔径重新做计算，估计下个月能完成。



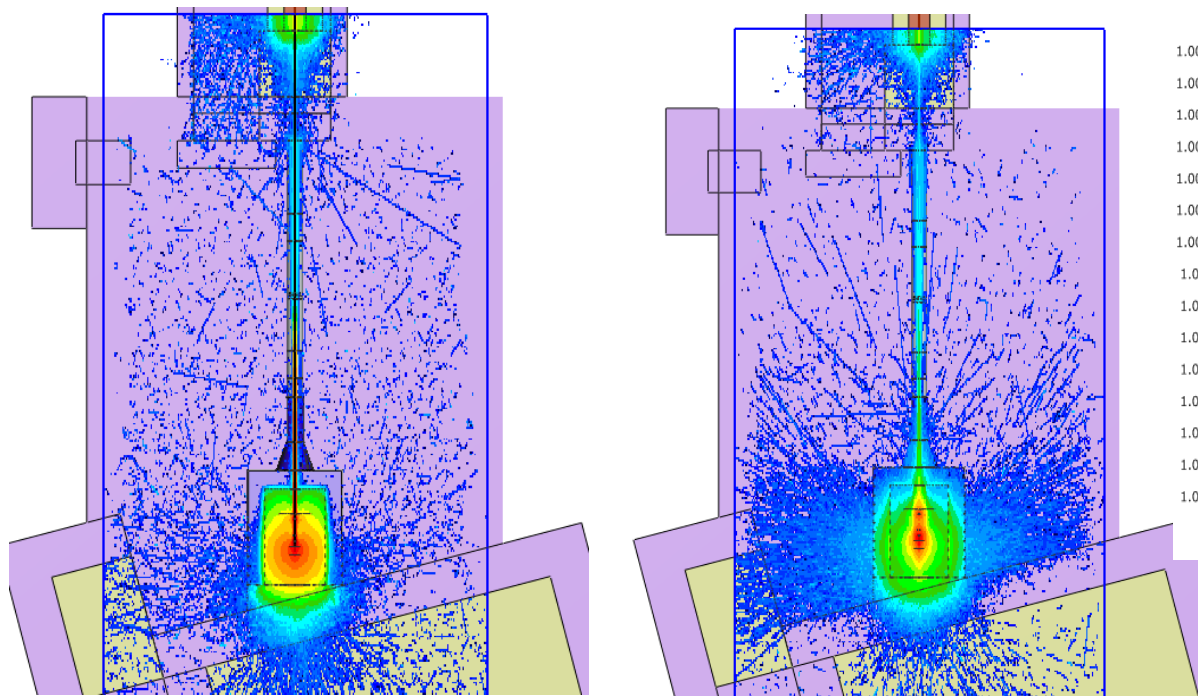
中子fluence情况 (ES#1)



光子fluence情况 (ES#1)

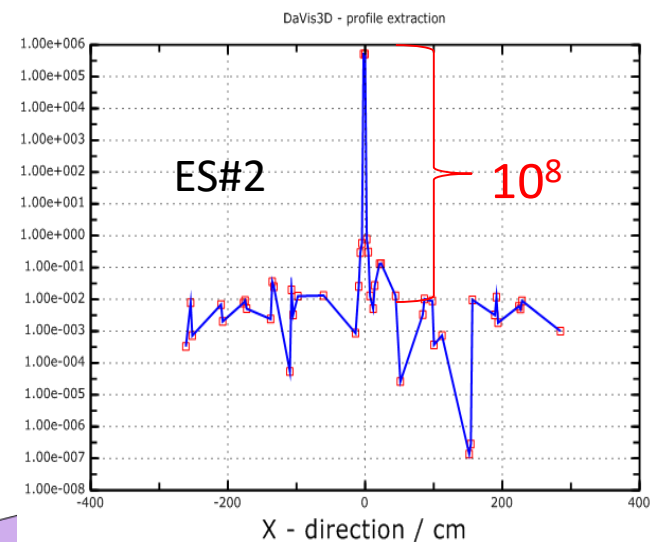


终端2在 $\phi 30$ 束斑情况厅内本底情况



中子fluence情况

光子fluence情况



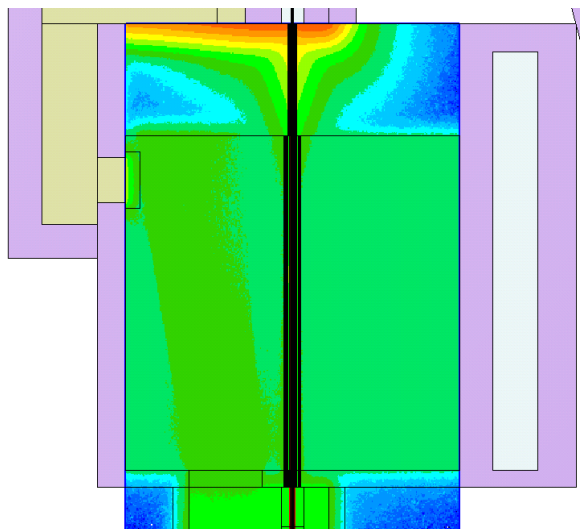
2.7e-03 1.9e-02 1.4e-01 1.0e+00 7.2e+00 5.2e+01 3.7e+02 2.7e+03 1.9e+04 1.4e+05 1.0e+06



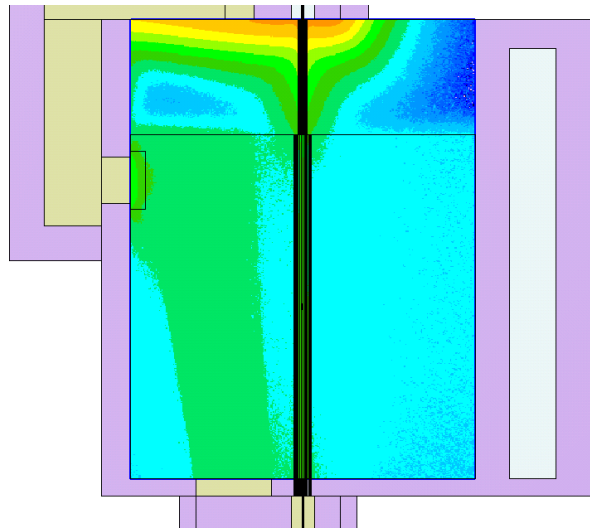
1.0e-03 7.2e-03 5.2e-02 3.7e-01 2.7e+00 1.9e+01 1.4e+02 1.0e+03 7.2e+03 5.2e+04 3.7e+05

n/cm²/s

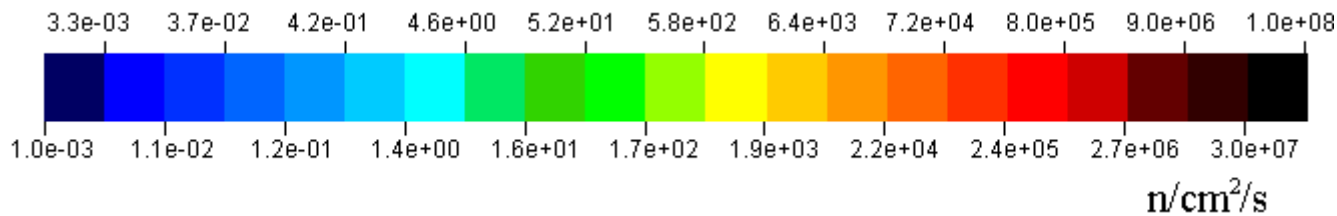
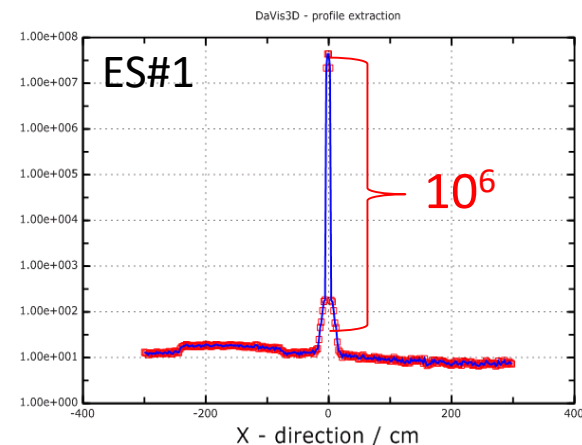
终端1在 $\phi 60$ 束斑情况厅内本底情况



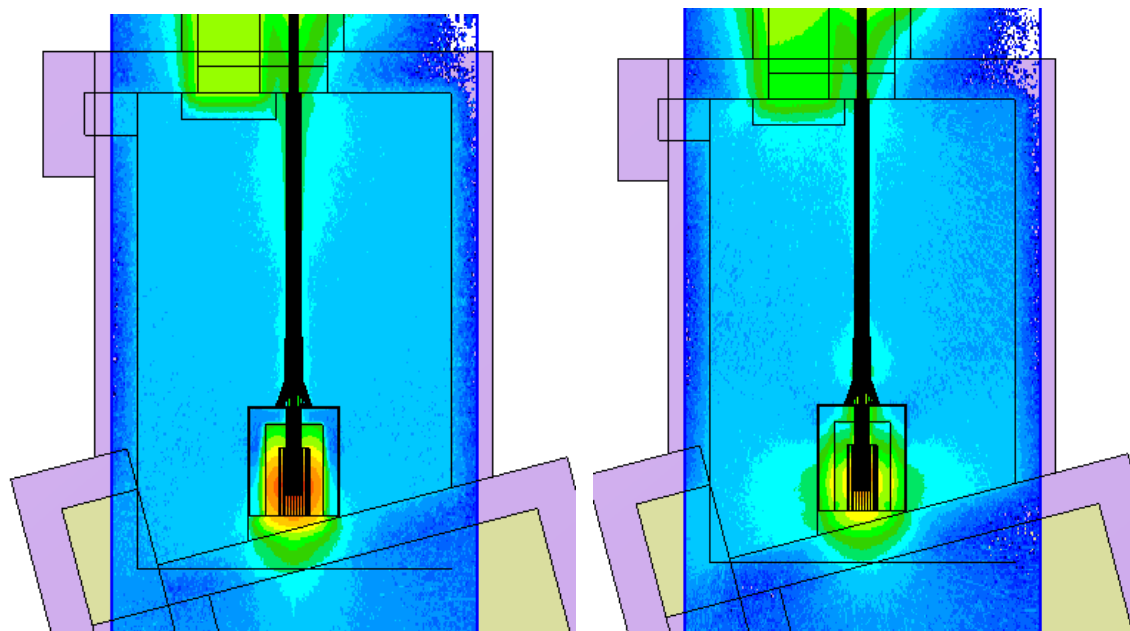
中子fluence情况 (ES#1)



光子fluence情况 (ES#1)

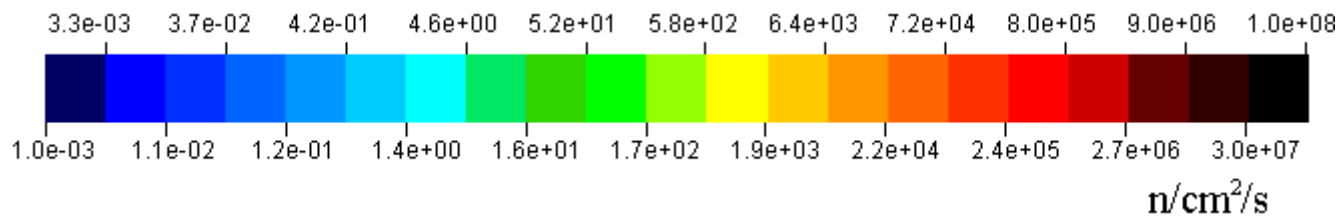
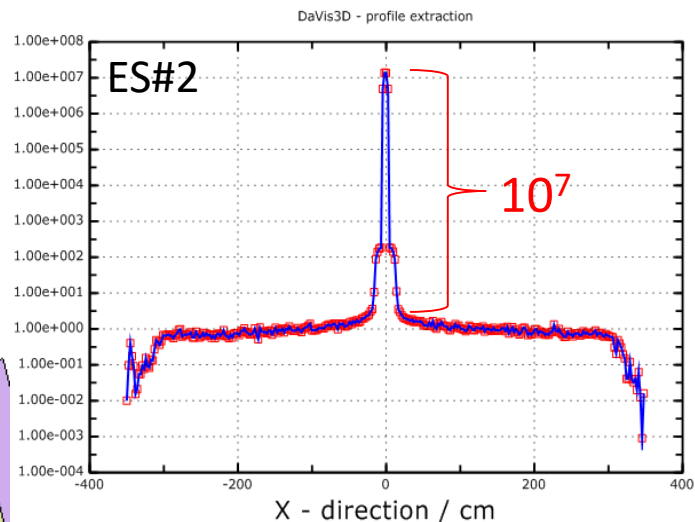


终端2在 $\phi 60$ 束斑情况厅内本底情况

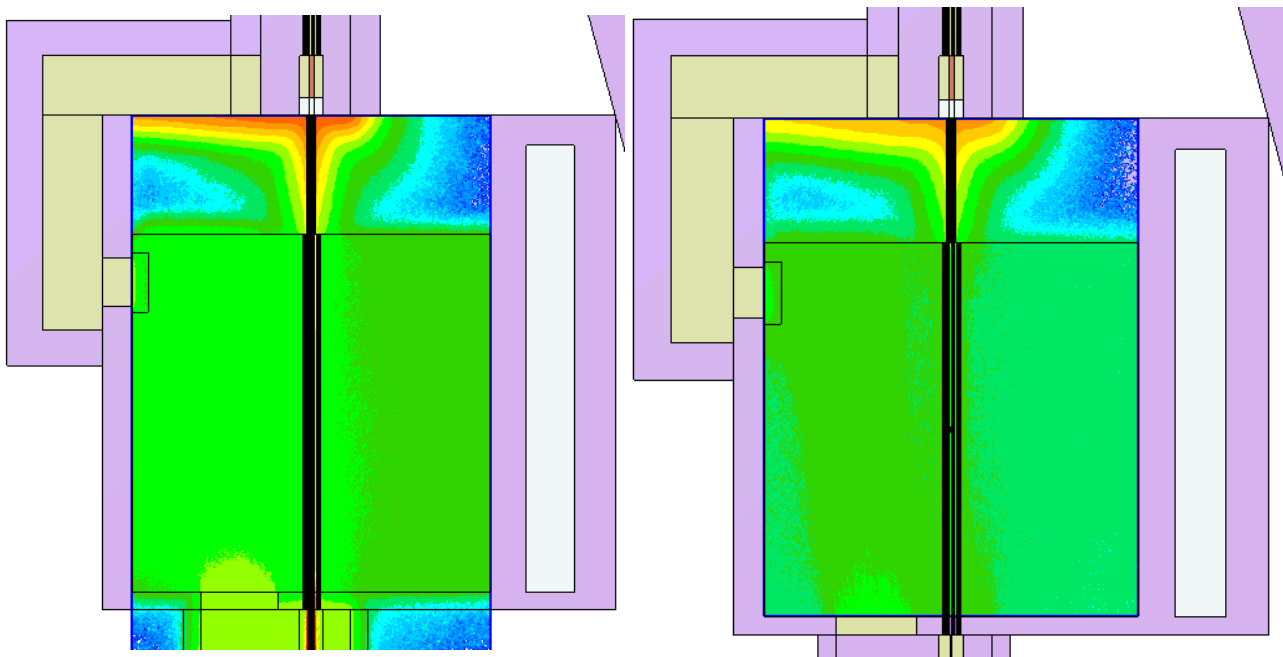


中子fluence情况

光子fluence情况

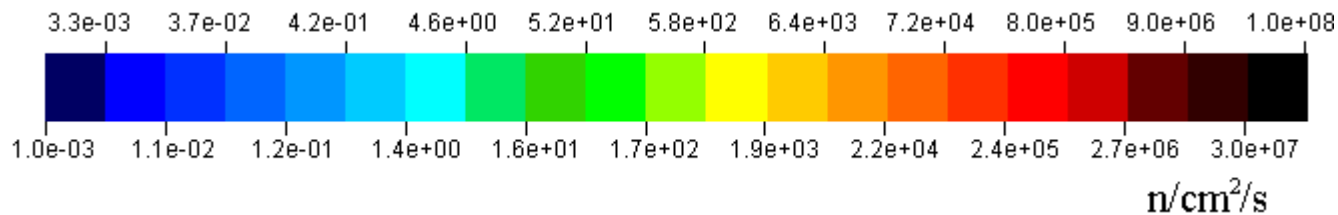
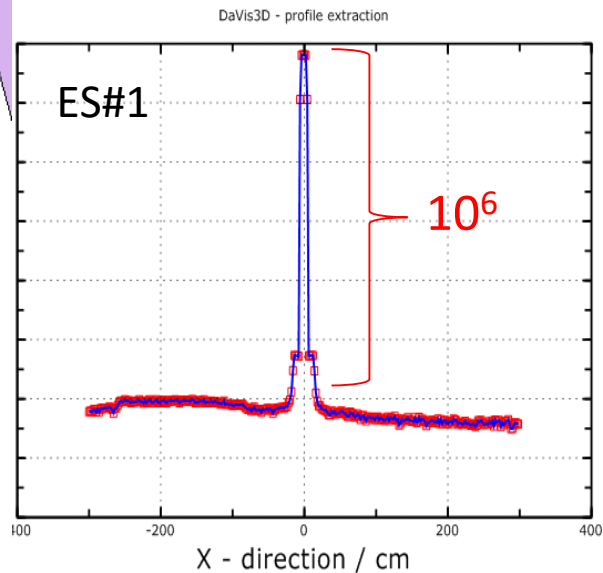


终端1在 90×90 束斑情况厅内本底情况

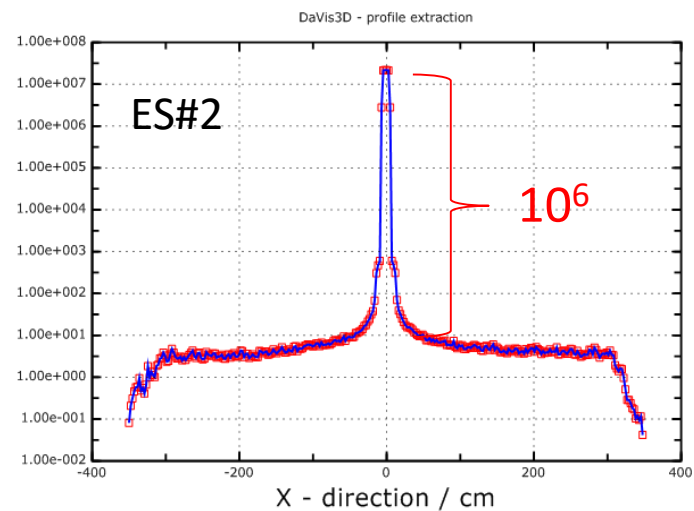
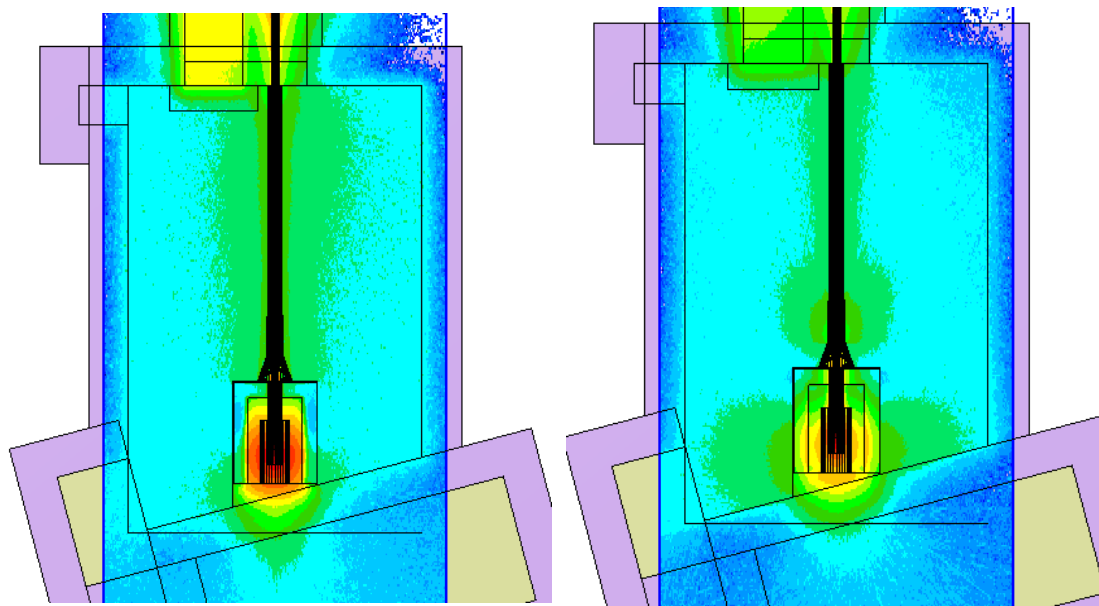


中子fluence情况 (ES#1)

光子fluence情况 (ES#1)

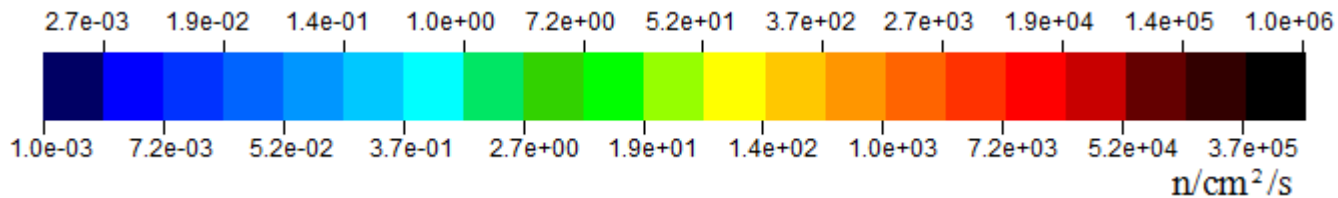


终端2在 90×90 束斑情况厅内本底情况

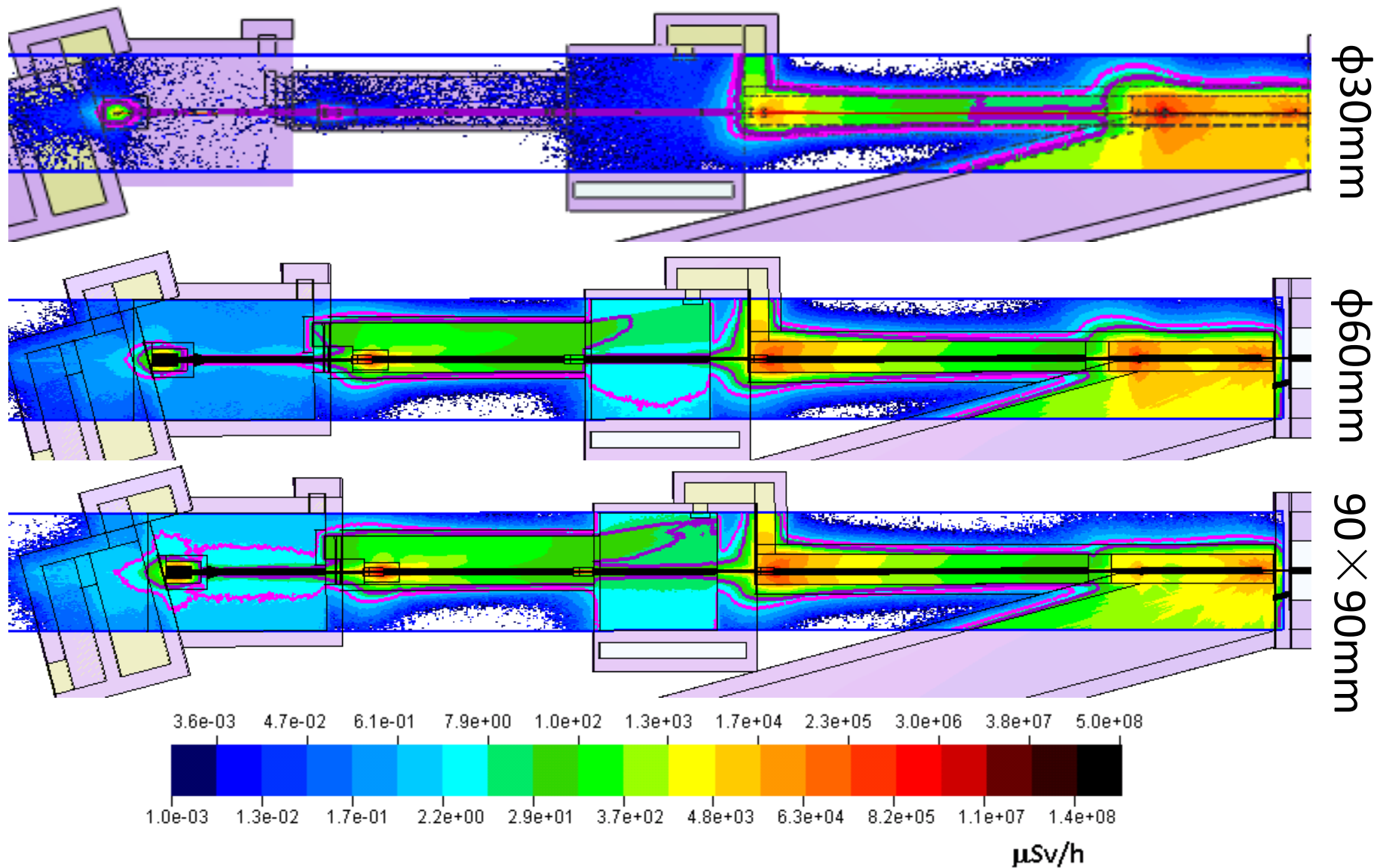


中子fluence情况

光子fluence情况



辐射剂量情况 (100 kW)

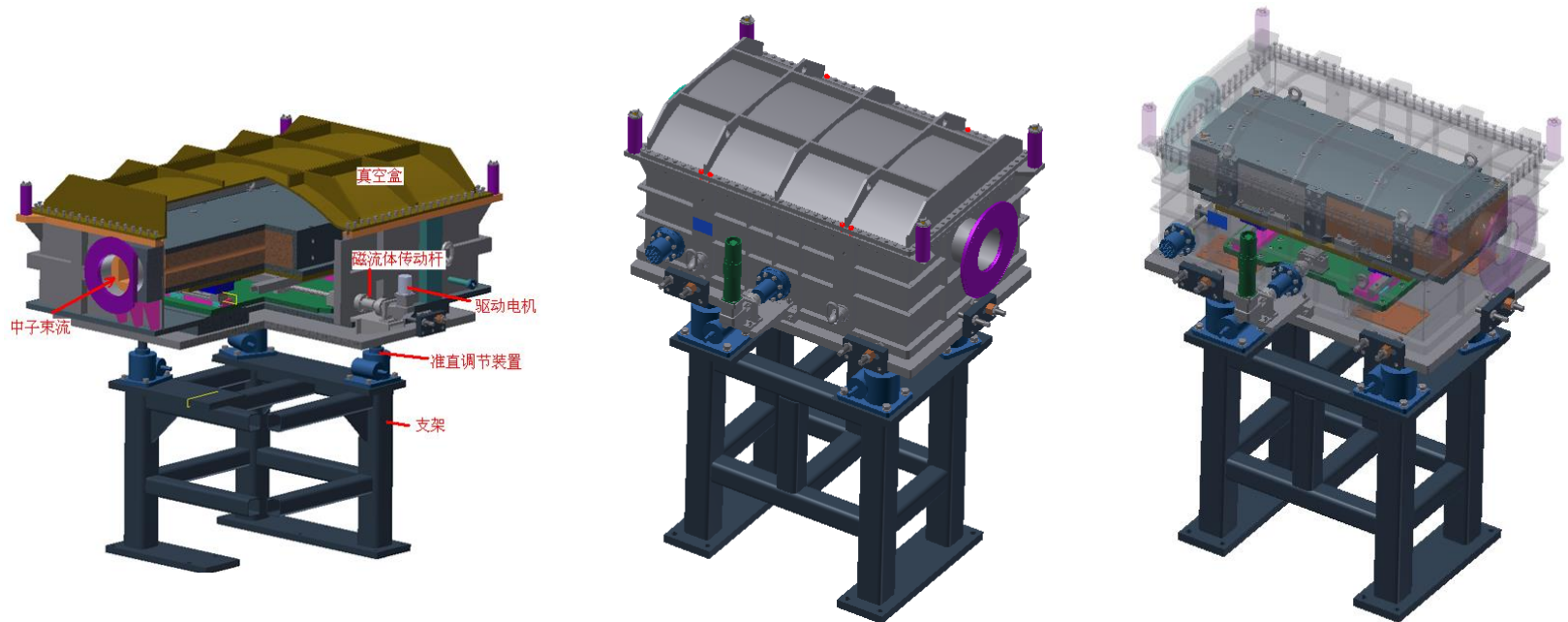


中子束线工程建设进展

1. 束流开关、准直系统进展
2. 真空系统进展
3. 辐射屏蔽及防护系统进展
4. 控制系统建设进展
5. 安装准直系统进展

开关、准直器1和准直器2的进展

- 中子束开关在2015年5月开始采购并确定厂家，正在加工
- 两台准直器与2016年5月通过招标确定了厂家，并在6月完成了加工工艺评审工作



跟踪中子开关的加工制造

1) 到合肥聚能驻厂查看中子开关加工情况

- ◆ 完成挡块的精加工，正在组装；
- ◆ 完成支架的加工和装配；
- ◆ 完成真空箱体和箱盖的焊接及精加工；
- ◆ 预计6月底完成装配调试。



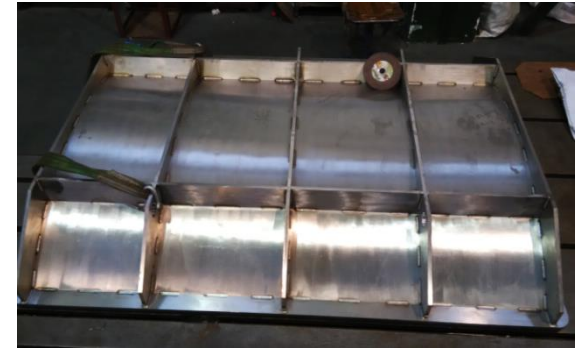
支架



挡块精加工



箱体

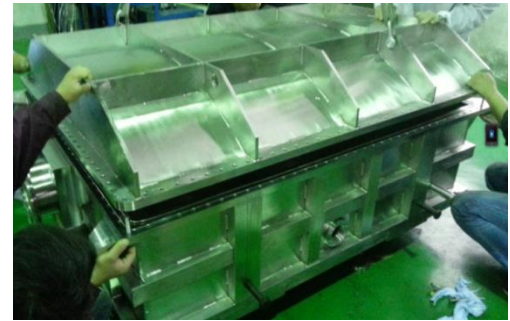
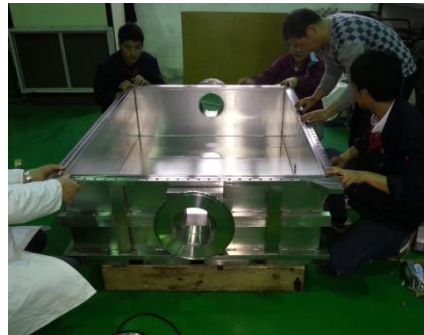
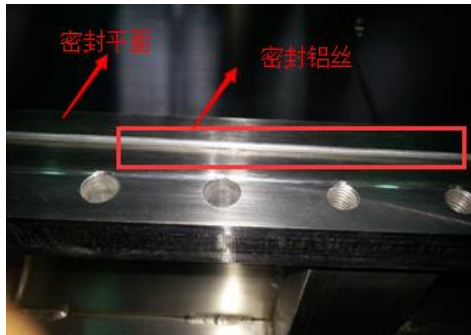


箱盖

跟踪中子开关的加工制造

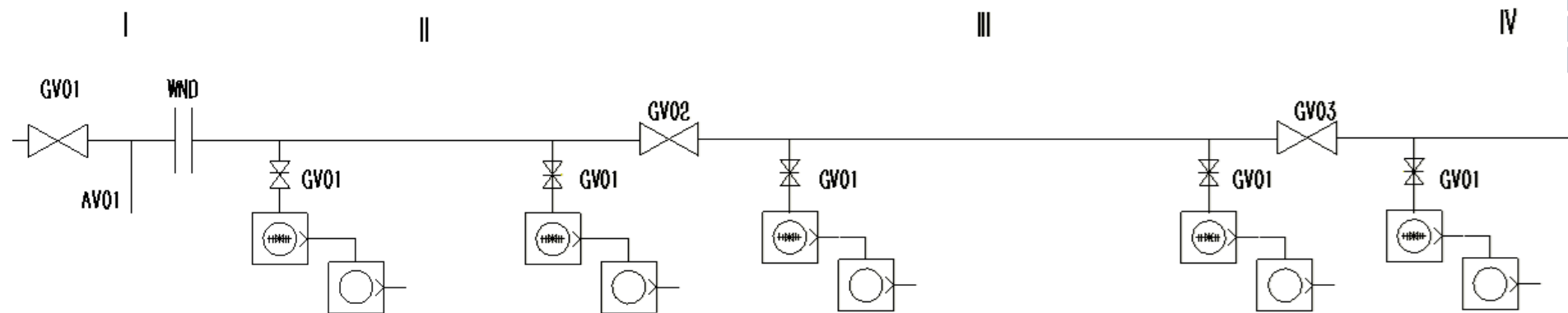
2) 完成箱体真空性能检测

- ◆真空密封结构采用平面密封而不是常规的台阶密封, 便于加工和安装
- ◆密封垫采用 $\Phi 3$ 的退火铝丝, 与银丝或钢丝相比, 可以节约大量经费
- ◆真空度: $1.2 \times 10^{-5} \text{Pa}$ (设计要求 $\leq 1 \times 10^{-4} \text{Pa}$)
- ◆罩检漏率: $0.29 \times 10^{-10} \text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (设计要求 $\leq 1 \times 10^{-10} \text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
- ◆该密封方式能够**满足设计要求**



真空系统

- 采用3个真空门阀及1个中子束窗将不同传输段的真空系统隔开，分为4个区段，见下图。
- 各个区段相互独立，某段爆大气只需检查相应区段系统并重新抽空。
- 真空度设计为 10^{-4} Pa;
- 理论计算，粗抽+高真空抽气时间 $<1h$;
- 真空束流管及接口法兰采用A6061材料，三角区段及有套管的4根束流管，采用不锈钢管;

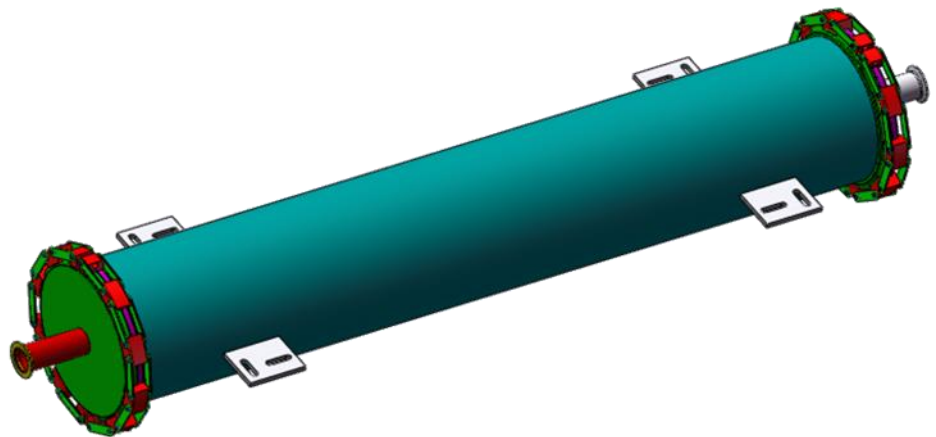


白光中子源真空系统区段分布布局图

铝管焊接和铝法兰真空密封试验

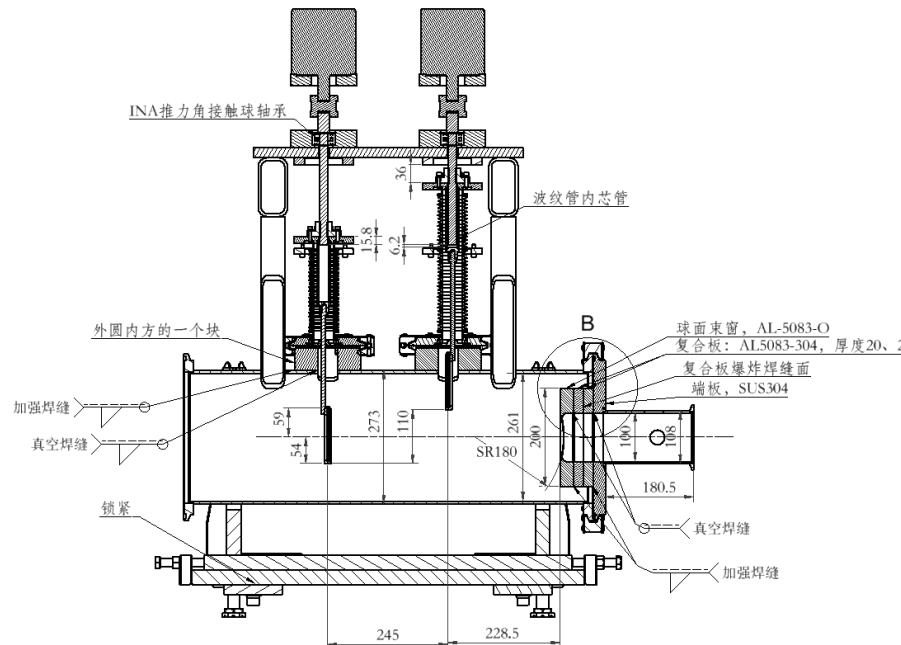
试验目的：为测试不同金属法兰之间的快卸密封（铝-铝，铝-不锈钢）。

测试结果：1) 铝-铝法兰，铝-不锈钢法兰之间实现真空密封，最大漏率小于 $1e-8\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$ ，满足工程需要。铝管和法兰都采用A6061材料。2) 铝-铝法兰多次拆卸和重装无明显损坏痕迹，可以保证使用



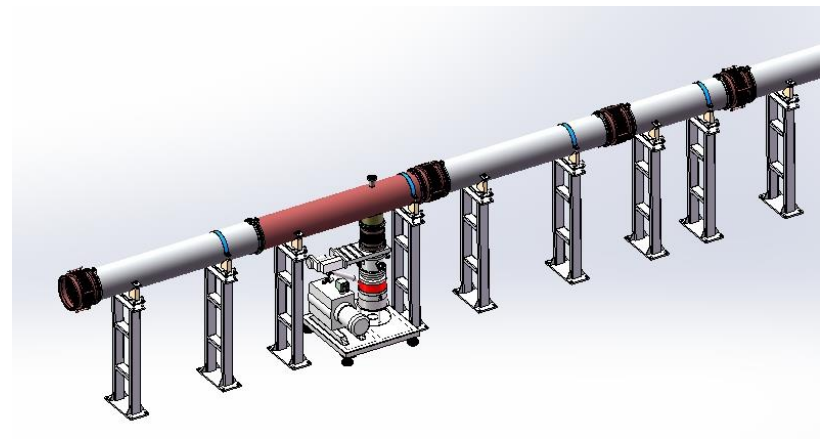
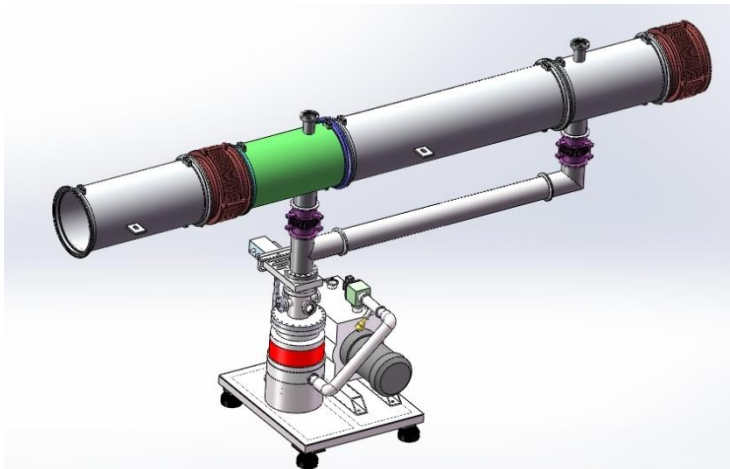
中子束窗加工进展

- 2015年5月完成了机械设计并出图；
- 2015年10月确定厂家开始加工；
- 当前已经完成束窗所有配件的采购，并支架机械加工也接近尾声，目前关键的束窗正在外协厂家加工；
- 预计下个月能够加工完成，并开始控制测试



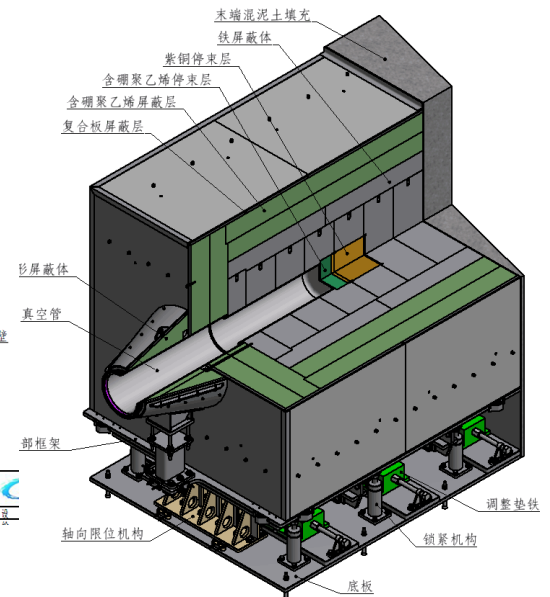
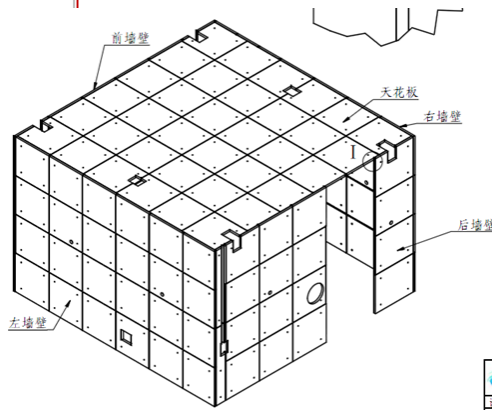
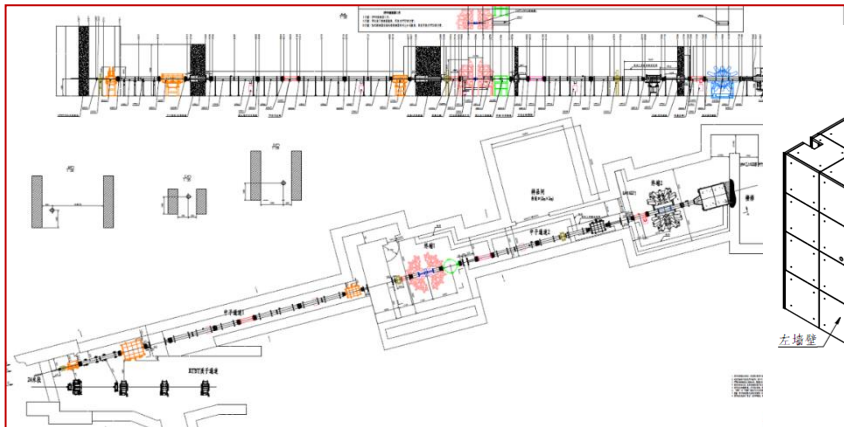
其它真空设备进展

- 三角区部分束流管厂家完成了加工，并且已经运抵CSNS园区，正在验收中。
- 从中子开关以后的束流管已经在2016年6月13日通过招标确定了厂家。
- 真空泵和真空计等标准设备也已经在采购中，真空系统目前所有采购任务都已经在执行



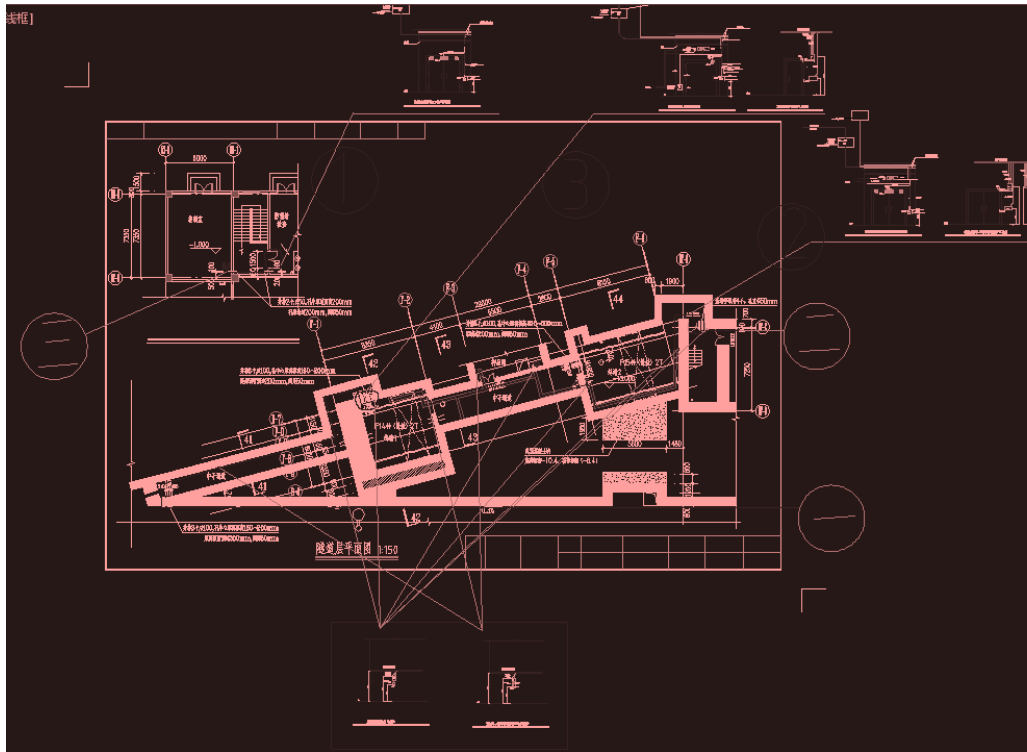
辐射屏蔽及防护进展

- 中子捕集器在2015年12月30日进行了机械设计评审
- 2016年6月13日完成了中子捕集器的招标工作，确定了生产厂家
- 2016年4月确定终端1墙壁贴含硼聚乙烯板加强屏蔽方案并确定了施工厂家。
- 目前已经和厂家确定了改性处理（添加阻燃剂）方案，7月份可以开始施工



人身安全联锁进展

- 2016年1月启动了钥匙采购
- 2016年5月启动了人身安全联锁设备的招标采购



控制系统

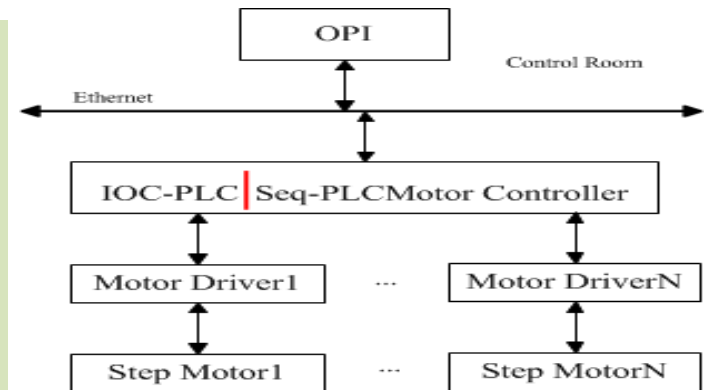
- 主要控制内容为电机（束窗、开关、准直器、全截面测量的样品台电机）、真空泵机组、真空阀和真空计。采用CSNS通用的控制方案
- 控制室布局设计
- 控制室显示屏功能分配及控制界面设计
- 实验终端内无死角视频监控
- 探测器系统的控制（样品台电机、探测器状态及监测）

真空控制：

- ◆ PLC梯形图：阀门控制连锁逻辑
- ◆ TP：与PLC通讯，状态监测和操作
- ◆ IOC：阀门、束线真空和分子泵机组状态监控

运动控制：

- ◆ 集成到EPICS IOC
- ◆ 标准化界面



控制室控制台上屏幕显示参数分配

屏幕编号	显示参数	备注
1	辐射剂量监测	显示白光中子源隧道入口、隧道内剂量情况
2	视频监控实验厅内状况	ES#1和ES#2两个实验厅
3	控制开关, 准直器1, 准直器2、束窗隔片	工作状态, 换孔径操作按钮 (包括微调按钮), 束窗隔片在位情况
4	监视真空状态	显示束线上各个位置真空状态
5	束流状态监控	显示中子束流流强信息 (由鲍杰提供测量结果)
6	控制DAQ的运行	显示数据获取系统工作情况
7	显示DAQ运行的状态	显示数据获取系统工作情况
8	显示CSNS加速器运行的状态及打靶T0信号	加速器运行状态参数: 质子打靶流强、功率、积分功率、运行时间
9	探测器系统使用 (待定)	
10	探测器系统使用 (待定)	
11	探测器系统使用 (待定)	
12	探测器系统使用 (待定)	

控制室大屏幕上屏幕显示参数分配

屏幕编号	主要功能	详细显示信息
1	加速器运行基本状态和打靶信号	加速器运行状态参数：质子打靶积分流强（主要图形）；显示辅助参数：当前流强，当前功率、运行时间
2	中子束流状态	显示当前流强（主要图形），辅助参数：当前功率、运行时间
3	实验厅设备工作状态监测	显示实验厅的简化布局图，以图标颜色表示工作状态（旁边辅助简洁文字表示），参数有：开关、准直器、探测器、废束站工作状态，厅内本底情况，剂量，联锁状态，真空状态
4	显示DAQ运行的状态	显示探测器数据获取及数据分析信息
5	厅内视频监控1	四个摄像头信息
6	厅内视频监控2	四个摄像头信息

控制室布局设计



控制室布局效果图



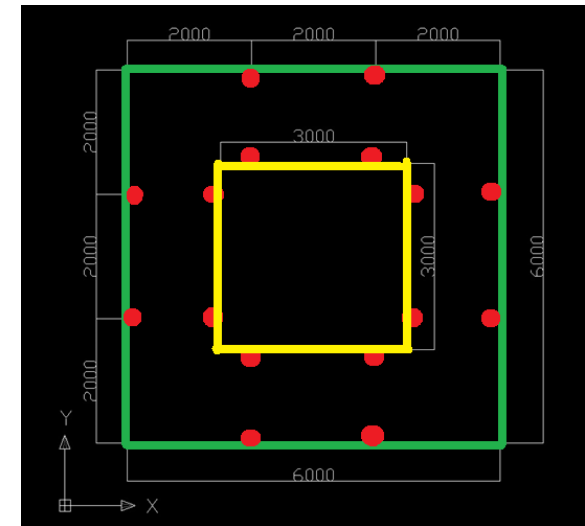
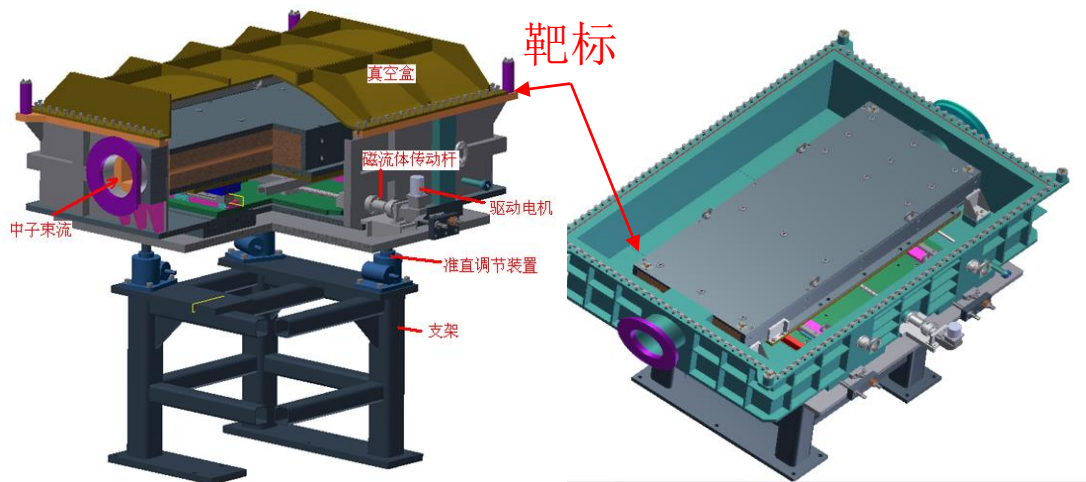
束线控制系统采购情况

- 已经完成控制室控制台、大屏幕墙的采购手续，厂家已经完成控制台制造，大屏幕墙在控制室隔层设计完成后就开始加工
- 控制模块、50寸的大屏幕电视也已经完成采购审批手续
- 其它标准设备将在2016年底开始采购

准直设计 1

• 准直控制网的准直方案

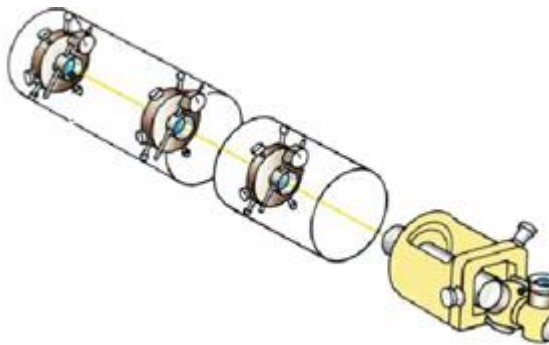
- 每台设备都设计有靶标并做标定；隧道内墙上及地面有准直定位点并标定，与CSNS这个园区的准直网建立关系；然后通过准直设备（如经纬仪、水平仪及激光跟踪仪等）精确测量束线设备在局域网内位置，从而精确地确定隧道内设备之间及与CSNS散裂靶之间的关系。
- 隧道内所需的定位件已经到货，估计在8月份开始标定隧道。
- 此方案是CSNS通用方案，精度可以达到0.1 mm。



准直设计 2

• 望远镜准直方案

- 利用远端设备（开关、两台准直器）的十字刻线和一个近点建立光路；调整望远镜底座使得准直望远镜光路与束流中心线重合，读数判断开关和准直器挡板偏差。
- 优点是易操作，缺点是设置靶标和光源，每次准直要拆管做漏真空操作。
- 为反角白光中子源特设定准直方案，测量精度小于0.3 mm；



中子束线建设计划时间表

- 2016年7月完成所有物理优化工作；完成中子捕集器和真空束线工艺评审；完成中子束窗和开关的装配调试；完成套管采购
- 2016年8月完成中子隧道准直标定
- 2016年9月完成终端1含硼聚乙烯板施工安装
- 2016年10月完成中子控制室改造；完成人身安全联锁和剂量监测设备安装
- 2016年11-12月完成中子准直器、捕集器和中子真空管线采购的出厂验收；完成真空泵和真空计；完成控制室设备的采购
- 2017年4月完成中子束线整体安装，包括中子捕集器安装
- 2017年5月完成束线整体空载调试
- 2017年6-7月完成束线在束调试，开始开展首批实验

中子束线系统人员安排

- 物理设计：2人，负责设计优化及补充计算
- 真空：1人，负责束线真空设计，真空盒的采购和驻厂督查
- 机械设计：2人，负责中子束窗、开关、准直器及中子捕集器的机械设计，采购及加工
- 控制：4人，负责束线控制系统及控制室设计，控制系统调试
- 准直安装：1人，负责束线和探测器设备标定和安装
- 辐射防护：3人，负责厅内防护的物理模拟计算，负责剂量监测、人身安全联锁系统设计，采购及安装

总 结

- 目前为了获得较高的流强，在优化中子束流时没有对束晕控制给出特别理想的结果，保留更换准直器孔径的可能
- 非标设备正在厂家加工，整体上进展比较顺利。目前束窗加工遇到加工精度不高的问题，已经要求厂家更换协作厂家；开关制造由于厂家拖工有所延误，已经加强驻厂督查目前
- 束线总体设备采购量已经超过85%，剩下的都是标准设备（采购周期小于3个月），年底前将完成所有设备采购
- 根据前面设备采购、加工经验，将加强后续准直器、中子捕集器、真空束流管及支架的驻厂督查工作；总体上目前时间可控

谢 谢！