

附件 2

核安全法规
技术文件

NNSA-HAJ-XXX-202X

氘氚聚变实验装置安全分析工作指南

(征求意见稿)

国家核安全局

前 言

国家核安全局历来高度重视并大力推进核与辐射安全法规的制修订工作。核与辐射安全法规体系包括法律、行政法规、部门规章、规范性文件和参考性文件。具有一定法规属性的技术指南类文件作为国家核安全局核与辐射安全监管的指导性文件，一般是借鉴国外经验和我国实践而编制。

为贯彻落实《中华人民共和国原子能法》《中华人民共和国生态环境法典》关于聚变装置的监管要求，明确氘氚聚变实验装置的许可要求，结合装置特点，编制本技术文件，用以说明氘氚聚变实验装置安全分析的主要内容和原则。

氘氚聚变实验装置需在装置运行前（等离子体调试前）开展安全分析，提交安全分析报告，重点说明装置危害识别、安全设计、运行技术指标等情况，分析运行和事故工况下的辐射影响，论证辐射安全与防护措施的有效性。

本技术文件可供我国氘氚聚变实验装置营运单位、设计单位及安全分析报告编制单位有关人员开展安全分析参考使用。

本技术文件编制单位是生态环境部核与辐射安全中心。

目 录

一、概述	9
1.1 建设单位概况	9
1.2 氘氚聚变实验装置概况	9
二、安全目标和工程设计要求	9
2.1 总体安全设计原则	9
2.2 法规标准与控制标准	10
三、工程分析	10
3.1 主机	10
3.2 辅助系统	10
四、工艺流程	11
4.1 装置调试阶段	11
4.2 非 DT 运行阶段	11
4.3 DT 运行阶段	11
4.4 退役阶段	11
五、危害识别	12
5.1 电离辐射分析	12
5.2 可能产生放射性影响的危害	12
5.3 其他潜在危害	13
六、辐射防护与安全措施	13
6.1 场所布局	13
6.2 辐射分区	13
6.3 屏蔽设计	13
6.4 辐射安全联锁	13
6.5 氚包容	14
6.6 维修维护防护措施	14

6.7 辐射监测.....	14
七、氙的储存与场内转移.....	14
7.1 氙的储存.....	14
7.2 氙的场内转移.....	15
八、核材料安保.....	15
8.1 核材料实物保护.....	15
8.2 核材料衡算.....	15
九、放射性废物.....	16
9.1 放射性固体废物.....	16
9.2 放射性液体废物.....	16
9.3 放射性气体废物.....	16
9.4 废物最小化.....	16
十、正常运行辐射影响.....	17
10.1 调试与运行时场所辐射水平.....	17
10.2 维修维护的辐射影响.....	17
10.3 辐射工作人员的受照剂量.....	17
10.4 公众剂量.....	17
十一、事故与应急.....	18
11.1 始发事件	18
11.2 事故分析.....	18
11.3 事故控制措施.....	18
11.4 应急准备与响应.....	18
十二、质量保证.....	18
12.1 质量保证大纲及程序.....	19
12.2 培训.....	19
十三、结论.....	19

氘氚聚变实验装置安全分析工作指南

一、概述

简要介绍氘氚聚变实验装置的用途、主要运行指标、建设与运行周期、选址布局和建设单位情况等内容。

1.1 建设单位概况

介绍氘氚聚变实验装置的建设单位情况，简要说明设计、建造和主要设备或系统制造的合同分包单位，以及主要的技术咨询和外部服务机构的名称。

1.2 氘氚聚变实验装置概况

简要介绍氘氚聚变实验装置的建造目的和用途，说明氘氚聚变实验装置的主要参数、单脉冲氚消耗量和使用量、氚年最大使用量、核材料持有限值，简要描述装置组成、选址布局情况，概述装置建设、调试、运行和退役的计划。

二、安全目标和工程设计要求

描述氘氚聚变实验装置工程设计中为实现安全可靠、技术可行等方面所遵循的基本原则与安全目标，说明项目设计所遵循的各项控制标准。

2.1 总体安全设计原则

描述在氘氚聚变实验装置设计中采用的安全目标和总的设计要求。描述要结合设计中考虑的正常运行、潜在事件和事故的要求，以及预防事故发生和缓解事故后果的安全目标和设计要求。应着重

说明设计中采用的原则，安全目标可考虑固有安全特性、纵深防御、限制排放后果、故障安全特性、事故预防、事故处理、辐射防护、质量保证等。

2.2 法规标准与控制标准

列出氦氦聚变实验装置设计中遵循的核与辐射安全有关的国家法律和法规标准。说明装置设计、建设、调试和运行中所遵循的各项控制标准，包括职业照射和公众照射剂量限值和约束值、单次事故工况下的公众剂量控制值、工作场所辐射水平和放射性污染水平控制值、气态和液态流出物中放射性核素年排放量控制值等。

三、工程分析

说明氦氦聚变实验装置的关键设备组成与设计的要求，描述主机和各系统的工作原理、工作方式以及运行要求等。

3.1 主机

描述氦氦聚变实验装置主机系统的原理、组成和设计的要求，说明装置各项设计参数和指标，如等离子体体积、密度、温度、磁场强度等，托卡马克装置还应说明等离子体半径、等离子体电流等，说明主要安全功能。

描述氦相关系统的功能、组成及设计的要求，包括氦处理与循环、包容、防氦泄漏以及去除系统等。

3.2 辅助系统

描述氦氦聚变实验装置辅助系统的功能、组成和设计的要求，包括：真空系统、燃料加注系统、冷却系统、通排风系统、供水系统、电源系统、防火系统等。描述窗口插件及其辅助系统的功能和组成，包括等离子体物理诊断系统、加热系统等。

描述氙增殖（测试）包层系统的功能、组成及设计要求，重点描述其产氙、能量提取与利用等实验系统，说明系统产氙量。

四、工艺流程

说明氙氙聚变实验装置调试、运行和退役的主要计划和各阶段具体工作目标与参数，说明不同阶段的工艺流程、工作计划、主要实验内容和停机维护等情况。

4.1 装置调试阶段

描述装置建成后装置整体调试计划和流程。说明调试阶段工艺流程中的涉源环节、涉及的系统与设备和装置年计划运行时间，简述各个环节的岗位设置、工作内容和操作时间等。

4.2 非 DT 运行阶段

明确 H/He 和 DD 等不充氙运行阶段涉及的系统与设备，说明 H/He 和 DD 运行阶段主要工作计划和装置主要参数和指标。说明已经列入运行计划中的停机维护和设备升级操作。说明工艺流程中的涉源环节和装置年度计划运行时间，简述各个环节的岗位设置、工作内容和操作时间等。

4.3 DT 运行阶段

明确 DT 运行阶段涉及的系统和设备，说明不同 DT 运行阶段聚变功率、脉冲长度、单次脉冲中子产生量、中子产生率、年累计中子产额、氙使用量和氙增殖量等参数。说明已经列入运行计划中的停机维护和设备升级操作。说明工艺流程中的涉源环节和装置年度计划运行时间，简述各个环节的岗位设置、工作内容和操作时间等。

4.4 退役阶段

根据装置规模和运行计划，简要说明装置退役初步方案和可行性。

五、危害识别

详细梳理分析氦氘聚变实验装置调试、运行和退役各阶段中可能产生的危害，包括射线、氦和活化等电离辐射，可能造成放射性影响的内部和外部危害，其他对人员和环境的潜在危害。

5.1 电离辐射分析

说明各阶段中子、光子、X射线等射线源项产生情况，包括但不限于射线能量、产生率、年产额和剂量率等情况，详细说明计算方法及假设。

描述各阶段涉氦参数包括氦运输量、氦累计盘存量、氦库房储量、氦投入量、氦循环量、不同脉冲宽度最大氦消耗量、年最大氦用量、氦排放量、氦泄漏率、氦增殖量等技术参数。如氦泄漏率和氦增殖量无法明确，可说明相关设计目标值和可行的监测方法。结合涉氦初步评估氦的迁移情况，评估氦迁移至装置部件、空气、水、土壤等可能的情况，重点分析气态氦向空气环境的迁移与分布情况。

说明不同环节活化部件的感生放射性水平，说明不同阶段停机维护的活化辐射源项。描述正常运行情况下其他可能的活化源项，如放射性粉尘、活化腐蚀产物等辐射源水平。

5.2 可能产生放射性影响的危害

梳理分析可能造成放射性影响的内部和外部危害，内部危害可考虑聚变主机中的能量（如等离子体失控）、磁能（如磁体失超）、热能（如异常热负荷）、低温能量（如液氦或液氮泄漏）、管道破裂、

机械故障、爆炸、火灾等。外部危害可考虑极端气候条件、地震、外部火灾爆炸等。

5.3 其他潜在危害

梳理电磁辐射、电气伤害、低温、化学中毒等可能造成人员与环境非放射性危害的情况。

六、辐射防护与安全措施

说明氘氚聚变实验装置项目的布局、屏蔽设计、场所分区、安全联锁和涉氚环节的相关安全与防护措施等情况。说明辐射工作场所设置的防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。

6.1 场所布局

给出项目总平面布置图，包括平面布局图和剖面布局图及周围房间（含楼上、楼下）情况，布局图附相关场所的空间尺寸、面积，说明各场所的用途及功能。明确人流物流走向（包括核材料运输专用通道和交接区域）和应急撤离通道等情况。

6.2 辐射分区

结合氘氚聚变实验装置的不同运行模式，给出不同阶段各场所分区情况，包括控制区和监督区示意图及相关要求。

6.3 屏蔽设计

结合氘氚聚变实验装置的不同运行模式，说明各辐射场所屏蔽设计情况，说明屏蔽材料、密度、厚度等，说明迷宫设计、局部屏蔽和管道贯穿补偿等情况。

6.4 辐射安全联锁

结合氘氚聚变实验装置的不同运行模式，详细说明氘氚聚变实验装置各场所辐射安全与防护设施及安保措施的设置情况，包括清

场巡检、紧急停机、门机联锁、门禁授权、剂量联锁、工作状态指示、声光报警、电离辐射警告标志、视频监控等。说明氙氙聚变实验装置运行条件，描述辐射安全和防护设施组成、数量、位置、安全保护功能及实现过程，附安全设施位置布局图、辐射安全联锁的逻辑关系图等。

6.5 氙包容

简述氙循环系统、氙包容系统、氙处理与回收系统等部件的设计、选材和制造等环节相应的标准，以及为满足氙包容而采取的主要技术措施。结合氙工艺系统设计，重点描述氙安全包容系统的运行方案，说明氙的有效、安全包容措施。

6.6 维修维护防护措施

说明氙氙聚变实验装置停机维修维护及升级过程中进行检修更换材料等工作所采取的辐射防护措施，包括但不限于遥操作等。

6.7 辐射监测

说明建设项目正常运行及停机维护时的辐射监测仪器配备情况和监测点位，列出监测仪器参数并分析监测仪器适配性。说明工作场所及周围环境监测、流出物监测、个人剂量监测等监测方案。

说明氙泄漏量、氙迁移量和氙排放量等涉及氙的监测方法与方案，并说明相关方法的可行性。分析涉氙运行过程中各部件氙滞留的测量方法、测量精度。

七、氙的储存与场内转移

说明氙在主机系统外的储存和场内转移情况，分析氙容器安全性和防护措施情况。

7.1 氙的储存

描述氙在场内储存的活度、物理化学形态和储存容器情况，说明氙储存的辐射防护措施、安全保卫措施等。

7.2 氙的场内转移

描述氙场内转移的活度、物理化学形态、运输容器、货包（外表面最大辐射水平、污染水平，货包类型、运输指数、货包分级等）、涉及场内转移的相关设施（装卸设备、运输工具）及其功能，说明运输组织实施方案（应包含氙放射性物品厂内运输方案、运输路线等）、辐射防护措施、安全保卫措施等，对放射性物品场内转移的辐射安全与防护进行评估。

八、核材料安保

说明核材料实物保护等级、安保措施、衡算系统以及相应的管理制度等。

8.1 核材料实物保护

描述氙氙聚变实验装置的组织机构、职责与分工，说明实物保护设计基准威胁、设计原则、区域划分和实体屏障、保卫控制中心、警卫与守护、出入口控制系统、入侵报警系统、视频监控系统、供电和照明系统、通信系统、检验和维修、突发事件处置等，给出必要的氙氙聚变实验装置实物保护附图。

8.2 核材料衡算

描述聚变燃料衡算的管理制度、组织机构和职责分工，说明聚变燃料平衡区划分、关键测量点设置、聚变燃料调入调出管理、聚变燃料测量、实物盘存、聚变燃料记录和报告等内容，并对聚变燃料衡算的不明材料量（material unaccounted for, MUF）及其相对标准偏差进行初步评估。

九、放射性废物

分析放射性废物产生情况，说明各类放射性废物处理方案和处理与贮存措施，解控要求和废物最小化策略。

9.1 放射性固体废物

说明含氡及其他放射性固体废物的产生情况，包括含氡及其他放射性固体废物的组成、活度/活度浓度、表面剂量率水平及产生量等，说明临时贮存设备/设施的容量及屏蔽防护能力，分别说明活化和含氡固体废物处理措施和最终去向。

9.2 放射性液体废物

说明含氡及其他放射性液体废物的产生情况，包括含氡及其他放射性废液的组成、活度/活度浓度、产生量，说明贮存系统设计、放射性废液的收集、容积、贮存系统和处理放射性废液的能力和效率，说明液态流出物的年排放量、排放浓度和排放方式等情况。

9.3 放射性气体废物

说明含氡及其他放射性气体废物的产生情况，包括含氡及其他放射性气态流出物组成、活度/活度浓度等，分析氡和氡化水的产生量与比例，说明污染控制措施、净化措施和排放方式，包括排放高度、排放速率、核素种类、排放浓度、年排放时间、年排放量等。

9.4 废物最小化

描述项目在设计、建造和运行期间放射性废物最小化的基本原则、管理政策和要求，说明废物处理工艺中废物最小化的措施，描述控制放射性废物产生的措施，包括源头控制、材料选择、活化和氡污染扩散控制、废物分类收集贮存、减容处置、清洁解控、再循环与再利用等。

十、正常运行辐射影响

通过模拟计算分析项目各环节辐射水平，分析项目所致辐射工作人员和公众有效剂量。

10.1 调试与运行时场所辐射水平

根据调试及不同运行阶段产生的辐射照射途径、场所屏蔽和污染防治情况，估算辐射工作场所及周围主要关注点的辐射水平。说明采取的计算模式、计算方法、计算公式、计算软件及版本、参数及其来源和依据，并给出必要的示意图，分析计算结果是否满足控制标准的要求。

10.2 维修维护的辐射影响

结合氙氙聚变实验装置维修维护阶段涉源操作流程可能产生的辐射照射途径，分析装置维修维护中的剂量率水平和涉氙环节辐射影响。

10.3 辐射工作人员的受照剂量

根据氙氙聚变实验装置调试及不同运行阶段产生的辐射照射途径，结合氙氙聚变实验装置工艺流程涉源操作环节、操作方式、操作时间、工作人员岗位设置及人员配备等因素，估算聚变项目所致辐射工作人员最大年有效剂量，给出计算模式和参数，分析氙氙聚变实验装置调试及不同运行阶段所致人员附加剂量满足剂量约束值情况。

10.4 公众剂量

根据氙氙聚变实验装置调试及不同运行阶段产生的辐射照射途径（如直接外照射、气态或液态途径等），结合评价范围内居民食谱和生活习性，估算公众所受照射剂量，说明采取的计算模式、计算

方法、计算公式、参数及其来源和依据，分析氙氙聚变实验装置调试及不同运行阶段所致公众附加剂量满足剂量约束值情况。如同一区域内有多个项目，源项应综合分析，考虑叠加影响。

十一、事故与应急

描述氙氙聚变实验装置可能发生的事件和事故，说明为预防事故发生或者缓解事故后果从纵深防御角度给出相应的安全设计，分析事故潜在后果与影响。

11.1 始发事件

根据危害识别情况，梳理始发事件清单。

11.2 事故分析

给出氙氙聚变实验装置可能发生的事故情况，给出设计基准事故、超设计基准事故等。给出事故释放源项，说明源项确定的假定条件、模式及其依据。

分析各事故工况下的潜在危险，描述对辐射工作人员及公众可能导致的附加照射剂量，分析可能对环境产生的影响，说明分析过程中采用的计算机程序。

11.3 事故控制措施

描述预防及缓解事故采取的安全设计考虑，结合安全与防护设施的设置阐述预防措施，说明预防措施的可操作性和可行性。

11.4 应急准备与响应

说明应急状态分级、应急设施和应急预案等情况。

十二、质量保证

说明氙氙聚变实验装置建造期间和运行期间质量保证体系的建立情况。

12.1 质量保证大纲及程序

描述氘氘聚变实验装置设计、建设、调试、运行和维护升级等活动的质量保证大纲及相应的程序，确保制定的质量保证大纲覆盖所有影响重要安全功能的活动。

12.2 培训

描述对直接从事氘氘聚变实验装置安装调试、运行维护和辐射安全管理的辐射工作人员的培训情况，包括培训计划、培训内容、考核和记录等方面。

十三、结论

根据氘氘聚变实验装置辐射源项特点和辐射安全与防护情况，对氘氘聚变实验装置设计、建造、调试、运行和维护升级等活动的安全分析给出评价结论。给出辐射安全影响评价的结论性意见，对制定的辐射防护措施、应急响应措施进行针对性和有效性说明。根据分析，指出存在的主要问题，提出拟采取的改进措施并承诺改进。