

附件一：

医用同位素生产堆（MIPR） 设计准则（征求意见稿）

国家核安全局

二〇〇七年十月

目 录

| | |
|--|----|
| 医用同位素生产堆（MIPR）安全设计准则..... | 1 |
| 医用同位素生产堆（MIPR）运行及事故工况分类准则..... | 5 |
| 医用同位素生产堆（MIPR）系统、部件和构筑物的安全功能和分级准则..... | 7 |
| 医用同位素生产堆（MIPR）事故分析准则..... | 16 |
| 医用同位素生产堆（MIPR）燃料溶液设计准则..... | 20 |
| 医用同位素生产堆（MIPR）核设计准则..... | 25 |
| 医用同位素生产堆（MIPR）热工水力设计准则..... | 28 |
| 医用同位素生产堆（MIPR）反应堆容器及堆内构件结构设计准则..... | 30 |
| 医用同位素生产堆（MIPR）反应堆水池设计准则..... | 34 |
| 医用同位素生产堆（MIPR）料液输送和放射性同位素提取系统设计准则..... | 36 |
| 医用同位素生产堆（MIPR）放射性生产线设计准则..... | 40 |
| 医用同位素生产堆（MIPR）气回路系统设计准则..... | 43 |
| 医用同位素生产堆（MIPR）堆顶小室及堆厂房功能设计准则..... | 48 |
| 医用同位素生产堆（MIPR）辐射监测系统设计准则..... | 51 |
| 医用同位素生产堆（MIPR）通风与空气净化系统设计准则..... | 55 |
| 医用同位素生产堆（MIPR）燃料贮存设施设计准则..... | 61 |
| 医用同位素生产堆（MIPR）燃料溶液配制设计准则..... | 64 |
| 医用同位素生产堆（MIPR）燃料溶液纯化处理系统设计..... | 68 |

医用同位素生产堆（MIPR） 安全设计准则

1 主题内容和适用范围

本准则规定了 MIPR 工程设计应满足的安全要求，主要强调的是 MIPR 设计中应满足的总的要求。

本准则适用于 MIPR 工程设计。

2 引用文件

| | |
|-----------|-----------------------|
| HAF201 | 研究堆设计安全规定 |
| HAF.J0002 | 含有有限量放射性物质核设施的抗震设计 |
| HAF.J0005 | 研究堆厂址选择 |
| GB18871 | 电离辐射防护与辐射源安全基本标准 |
| HAD002/03 | 核事故辐射应急时对公众防护的干预原则和水平 |

3 术语和定义

3.1 溶液堆

利用含有一定富集度 ^{235}U 的盐的水溶液作燃料的均匀性反应堆。

4 安全目标

4.1 总的核安全目标：在 MIPR 中建立并保持对放射性危害的有效防御，以保护工作人员、公众和环境免受辐射照射的危害。

4.2 总的核安全目标由辐射防护目标和技术安全目标所支持：

a) 辐射防护目标：保证在所有运行状态下，厂区环境内辐射或由于任何计划排放放射性物质引起的辐射照射保持低于规定的限值，并保持在合理可行尽量低的水平；保证减轻任何事故的放射性后果；即使发生最大假想事故，对厂区边界处的公众也不会造成超过规定限值的辐照影响。

b) 技术安全目标：采取一切合理可行的措施防止事故，并在一旦发生事故时要以高可信度保证任何放射性后果尽可能小且低于规定限值；并保证有严重放射性后果的事故发生概率极低。

4.3 为了实现上述安全目标，在设计时，要进行全面的安全分析，安全分析应考察以下内容：

- a) 正常运行；
- b) 预计运行事件；
- c) 事故工况。

4.4 在分析上述内容时，应考虑诸如设备故障、人为差错、火灾、爆炸等可能发生的内部事件及地震、洪水和狂风等可信的自然事件和外部人为事件。

4.5 在分析基础上，确定工程设计抵御事故的能力，验证安全系统和安全有关物项或系统的有效性。

5 纵深防御

5.1 MIPR 工程设计应贯彻纵深防御的原则，提供多层次的保护，以防止放射性物质的释放。纵深防御概念应用于设计有两个方面：多层次防御及多道实体屏障。

5.2 多层次防御

5.2.1 采用保守的设计裕量，执行质保大纲。

5.2.2 提供多种手段，确保下列基本安全功能：

- a) 在所有运行状态或事故工况下，均能停堆并使之保持在安全停堆状态；
- b) 足以排除停堆后(包括事故工况停堆后)堆芯余热；
- c) 包容放射性物质，尽量减少向环境的释放。

5.2.3 利用设备及管理程序，以实现下列要求：

- a) 防止偏离正常运行状态；
- b) 防止可能导致事故工况的预计运行事件；
- c) 控制事故进展，缓解事故后果。

5.2.4 制定厂内应急计划（对于 MIPR，不考虑厂外应急）。

5.3 多道实体屏障

设置多道实体屏障，实现放射性密封包容，防止燃料溶液和其他放射性物质释放。对于 MIPR，包括以下三道实体屏障：堆芯容器与气回路构成一次包容（不包括燃料溶液纯化和同位素提取系统）、包容气回路的堆顶密封小室与堆水池构成二次包容；堆水池外空间与密封厂房构成三次包容。

6 安全设计原则

MIPR 工程应遵守以下安全设计原则，这些原则是核设计、热工水力设计、堆本体和回路系统等设计应遵守的原则：

a) 具有两套停堆系统，控制棒停堆系统和堆芯燃料溶掖排出系统。其中控制棒停堆系统具有紧急停堆能力，即使一根最大价值棒卡在堆外，也能使反应堆进入冷停堆状态，并保持足够的停堆深度。

b) 在任何情况下，防止堆芯加入不可接受的正反应性；

c) 反应堆具有适当的负的温度和空泡反应性系数；

d) 在冷却剂系统失效状态下，能使反应堆自动降功率，堆功率降至与自然散热相平衡，反应堆燃料溶液温度仍低于溶液饱和温度，堆处于安全状态；

e) 堆芯料液在进水稀释条件下引入负反应性，而蒸发浓缩时，开始引入少量正反应性（引入量不应导致反应堆短周期事故），随后进一步浓缩引入负反应性；

f) 利用堆容器壁向水池传热，达到可靠的余热导出；

g) 设计有可靠的除氢装置，使堆芯容器及气回路气体中氢气浓度低于安全限值；

h) 保持堆芯溶液的酸度，以防止溶液沉淀；

i) 在任何事故下堆芯变形不允许超过设计限值；

j) 反应堆堆芯气腔及气回路运行压力低于堆顶小室内气体压力，应考虑堆芯氮气的产生，以维持堆芯气压稳定在规定的范围；

k) 燃料溶液中同位素提取在停堆状态下进行；

l) 有燃料溶液纯化设施，定期停堆纯化燃料溶液中部分裂变产物；

m) 执行安全功能的系统、部件和构筑物都应设计可靠，设计应考虑多重性、多样性、独立性和故障安全原则，并对支撑安全设备的辅助设施作相应的考虑；

n) 能有效包容放射性物质，包容结构要有预防损坏措施，并有监测放射性泄漏的手段，设计有有效的辐射防护措施；

o) 堆容器可整体更换。

7 设计安全管理

7.1 设计中应充分考虑、吸取和利用国外同类堆设计和运行经验，尤其是硝酸溶液堆的经验。

7.2 工程验证

7.2.1 安全重要系统、部件和构筑物应按照经批准的规范和标准进行设计并对其适用性、恰当性和充分性进行鉴别和评价。

7.2.2 当引入未经验证的系统、工艺及设备时，应借助于支持性研究或通过台架运行试验来证明其安全性是合适的。

7.2.3 选择设备时应考虑到误动作和不安全的故障模式，应优先选择具有可预见的和已揭示故障模式的且便于修理或更换的设备。

7.3 质量保证

7.3.1 应制定和实施设计的管理、执行和评价的总体安排的质量保证大纲。这个大纲应由每个系统、部件和构筑物的更详细计划来支持以便始终保证设计质量；

7.3.2 设计包括后来的变更或安全的改进，应按照例行的工程规范和标准所确定的程序进行，并应体现适用的要求和设计基准。应确定和控制设计接口；

7.3.3 设计（包括设计手段和设计输入与输出）是否恰当应由原先从事此工作的人员以外的个人或团体进行验证或核实。验证确证和批准应在作详细设计之前完成。

7.4 老化管理

7.4.1 应为所有安全重要系统、部件和构筑物留有适当的裕度，以便考虑到有关老化以及与服役期有关的可能的性能劣化，从而保证在整个设计寿期内能够执行所必需的安全功能。

7.4.2 应考虑所有正常运行工况、同位素提取、维修、维修停役以及假设始发事件中和其后的老化，从而保证在其整个设计寿期能够执行所必需的安全功能。

7.4.3 应为监测、试验、取样和检查采取措施，以便评价设计阶段预计的老化机理和鉴别在使用中可能发生的预计不到的情况或性能劣化。

7.5 退役考虑

在设计阶段应专门考虑便于退役和拆除的措施。特别是设计中应考虑：

- a) 材料的选取，以便把放射性废物中最终放射性活度降到最小程度，并便于去污；
- b) 充分考虑燃料溶液处理和处置的措施；
- c) 必要的可达性的通道及手段；
- d) 贮存运行和退役中产生的放射性废物所需的设施。

8 安全性指标

8.1 在正常运行和预计运行事件工况下，对工作人员和公众所造成的辐射照射年有效剂量应遵守 GB18871 的规定，并应限制在相应的环境保护行政主管部门规定的范围之内。

8.2 设计基准事故工况下，每次事故公众中任何个人可能受到的有效剂量小于 5mSv，甲状腺剂量当量小于 50mSv；超设计基准事故工况下，每次事故中任何个人可能受到的有效剂量当量小于 10mSv，甲状腺剂量当量小于 100mSv，规定评价范围内集体剂量当量不会超过几个人·Sv，不导致任何场外应急状态。

8.3 应有针对放射性废物特点的处理工艺，对放射性固体废物应有暂存场所，对放射性排出流向环境释放的放射性总活度及活度浓度应限制在相应的环境保护行政主管部门规定的范围之内。

本设计准则由中国核动力研究设计院提出

本设计准则由中国核动力研究设计院组织编写

编写人：宋小明 吴英华

校核人：牛文华

医用同位素生产堆（MIPR） 运行及事故工况分类准则

1 主题内容和适用范围

本准则规定了 MIPR 运行和事故工况分类并列出了各种工况的典型事例。

本准则适用于 MIPR 运行及事故工况分类。

2 引用文件

| | |
|-----------|--------------------------------|
| HAF201 | 研究堆设计安全规定 |
| HAF202 | 研究堆运行安全规定 |
| HAD201/01 | 研究堆安全分析报告的格式和内容 MIPR 安全设计准则 |

3 术语和定义

本章无内容。

4 运行及事故工况分类原则

4.1 本准则根据 MIPR 可能出现的影响反应堆安全的事件或事故的频率及其所产生的后果，规定了运行和事故工况分类方法。

4.2 为了论证 MIPR 具有固有安全性以及足够安全纠正措施，必须对正常运行、预计运行事件、事故工况进行安全评价。应考虑所有可能导致预计运行事件或事故工况的假设初始事件（设备误动作或故障、运行人员误操作或外部事件），对于本准则中所列典型事例中未列入的运行状态或事件，可根据本准则的分类方法归入适当的工况类别中。

5 运行及事故工况分类

MIPR 的工况一般可分为正常运行、预计运行事件、事故工况。

5.1 正常运行

正常运行是指 MIPR 反应堆在所设定的运行限值和条件范围内的运行。主要包括：

- 1) 启堆过程；
- 2) 功率运行；
- 3) 停堆；
- 4) 燃料溶液从堆芯排出及循环；
- 5) 燃料溶液在贮存罐暂存；
- 6) 燃料溶液进入堆芯；
- 7) 堆芯添加燃料溶液。
- 8) 堆维护及试验等工况。

5.2 预计运行事件

预计运行事件是指在 MIPR 反应堆运行寿期内预计可能出现一次或数次的偏离正常运行的各种运行过程。由于 MIPR 的固有安全性和设计中已采取相应措施，这类事

件不至于引起安全重要物项的严重损坏，也不导致事故工况。主要包括：

- 1) 全厂断电事故；
- 2) 水泵故障、阀门故障以及冷却管道泄漏等引起的反应堆冷却剂流量降低；
- 3) 反应堆冷却剂水温变化；
- 4) 反应堆气回路氢浓度升高；
- 5) 排氮系统故障；
- 6) 反应堆气回路微漏；
- 7) 反应堆燃料溶液输运系统滴漏；
- 8) 反应性事故。

5.3 事故工况

事故工况包括设计基准事故和超设计基准事故。设计基准事故是指按“医用同位素生产堆（MIPR）安全设计准则”要求设计时必须加以防范的事故工况。出现这种工况时，放射性物质的释放量能保持在可接收的限值范围内。超设计基准事故是指比设计基准事故更严重的工况。本堆设计考虑氢爆为超设计基准事故。

设计基准事故的典性事例包括：

- 1) 冷却剂泵卡转子导致冷却剂快速断流；
- 2) 气回路喷淋泵卡转子导致气回路断流；
- 3) 堆芯冷却盘管破损；
- 4) 燃料溶液输送管破损；
- 5) 补酸系统故障；
- 6) 气回路边界产生泄漏；
- 7) 同位素提取过程放射性泄漏；
- 8) 正反应性引入。

本设计准则由中国核动力研究设计院提出

本设计准则由中国核动力研究设计院组织编写

编写人：聂华刚 吴英华

校核人：宋小明

医用同位素生产堆（MIPR） 系统、部件和构筑物的安全功能和分级准则

1 主题内容与适用范围

本准则根据医用同位素生产堆（MIPR）系统、部件和构筑物的安全功能，对其进行安全分级，提出了相应的设计建造规范等级、抗震等级、质量保证等级。

本准则适用于医用同位素生产堆系统、部件和构筑物的安全功能和分级。

2 引用文件

| | |
|----------------|-----------------------------|
| HAF201 | 研究堆设计安全规定 |
| HAF202 | 研究堆运行安全规定 |
| HAF003 | 核电厂质量保证安全规定 |
| HAD003/01 | 核电厂质量保证大纲的制定 |
| HAD102/03 | 用于沸水堆、压水堆和压力管式反应堆的安全功能和设备分级 |
| HAF J0002 | 含有有限量放射性物质核设施的抗震设计 |
| HAF J0005 | 研究堆厂址选择 |
| HAF J0045 | 质量保证分级手册 |
| HAF J0066 | 压水堆核电厂物项分级的技术见解 |
| GB/T-17569 | 压水堆核电厂物项分级 |
| IAEA NO.NS-R-1 | Safety of Research Reactor |

3 术语和定义

本章无内容。

4 安全分级

4.1 安全分级的依据

IAEA Safe Requirements NO.NS-R-1 《Safety of Research Reactors》规定，必须根据构筑物、系统或部件以及软件的功能和对安全的重要性对构筑物、系统或部件以及软件进行安全分级，划分包括软件在内的构筑物、系统或部件安全重要性的方法必须基于确定论的方法，并酌情辅以概率论方法和工程判断，同时还要考虑其安全功能失效的后果。

HAF201《研究堆设计安全规定》要求“必须提供多种手段，确保下列基本安全功能：
——在所有运行状态和事故工况下，均能停堆并使之保持在安全停堆状态；
——足以排除停堆后（包括事故工况停堆后）堆芯余热；
——包容放射性物质，尽量减少向环境的释放。”

上述《研究堆设计安全规定》要求确保的三项基本安全功能（反应性控制、余热排出和放射性物质包容）是安全分级的基本依据。为了方便，根据 MIPR 的特点，参照 HAD102/03 有关内容，把 MIPR 应满足的基本安全功能划分为如下具体的安全功能条

目：

- a) 防止发生不可接受的反应性瞬变，特别是防止发生溶液浓度变化引入不可接受的正反应性；
- b) 在所有运行工况和事故工况下，实现安全停堆并维持安全停堆状态；
- c) 防止预计运行事件发展为事故工况和减轻事故工况的后果；
- d) 在所有运行工况和事故工况期间或之后，从堆芯排出显热和余热；
- e) 作为一种支持性功能，为安全系统提供必要的公用设施(如电等)；
- f) 保持堆芯容器在内的一次边界的完整性，特别是在任何事故工况下，应保持堆芯容器几何形状；
- g) 限制放射性物质在事故工况期间或之后，从反应堆厂房内向外释放；
- h) 在反应堆厂房以外以及堆芯容器在内的一次边界以外发生放射性物质释放的事故工况期间和之后，使公众和厂区人员受到的辐射照射保持在可接受的限值以内；
- i) 在所有运行工况下将放射性废物和气载放射性物质的排放或释放限制在规定限值以内；
- j) 对反应堆厂区内环境状况进行控制，以便各安全系统能够正常运行，并为进行安全上重要操作的运行人员提供必要的可居留性；
- k) 在所有运行工况期间，对在堆芯容器以外，但仍对在厂区内运输或贮存的辐照过的燃料溶液的放射性释放进行控制；
- l) 对在厂区内的辐照过的燃料溶液要排出衰变热；
- m) 在厂区内的燃料（固态和溶液）保持足够的次临界度；
- n) 当某一部件或构筑物的损坏会损害某一安全功能时，防止该部件或构筑物发生损坏或限制其损坏所引起的后果；
- o) 在所有运行工况期间，保持燃料溶液的化学性质（如硝酸浓度），防止燃料溶液发生化学沉淀；
- p) 在所有运行工况和事故工况下，应消除燃料溶液辐照分解产生的 H_2 ，保证 H_2 浓度在安全限值内。

4.2 安全分级的划分

医用同位素生产堆系统、部件和构筑物分安全级和非安全级两大类，凡承担或支持 3.1 节所提及的安全功能的物项，其损坏可直接或间接造成事故的物项以及其它具有防止或缓解事故功能的物项为安全级物项，其它为非安全级物项。在非安全级物项中应当识别出有特殊要求的物项。

对不同的物项（如机械设备、电气设备及构筑物等），其安全等级的划分要求各有不同。医用同位素生产堆物项安全等级名称及代号如下：

| | | |
|------|-----|-------------|
| 安全级 | SC | （电气设备用 IE） |
| 非安全级 | NNS | （电气设备用非 IE） |

非安全级中有特殊要求的 NNS (S) (电气设备用 SR)

4.3 机械设备的安全分级

机械设备划分为安全级和非安全级两大类。

(1) 安全级

安全级适用于执行安全功能的机械设备、部件，其例子有：

- a) 堆芯容器和气回路等组成的一次边界；
- b) 燃料溶液贮存容器；
- c) 堆芯冷却盘管；
- d) 控制棒导管；
- e) 紧急排料系统；
- f) 所有安全级设备的主支承件等。

(2) 非安全级

安全级以外的机械设备属于非安全级。

在非安全级中应当识别出 NNS (S) 设备和部件，这类也是安全重要物项，但其失效不会使厂区人员或公众所受照射超过规限值。

NNS (S) 设备和部件的例子有：

- a) 一次冷却水系统主要部件 (3.3 (1) 中已分级的除外)；
- b) 放射性废气和废液贮存容器；
- c) 通风系统中高效与除碘过滤器等；

4.4 电气设备的安全分级

电气设备包括电力设备、仪表和控制及其供电设备，电气设备划分为安全级 (1E 级) 和非安全级 (非 1E 级) 两大类。

(1) 安全级

安全级适用于防止发生事故以及发生事故时和事故后为保护公众所需要的所有电气设备。安全级电气设备执行或支持 3.1 节中的安全功能及其他的防止和缓解事故 (包括事故后监测) 的功能。

安全级电气设备的例子有：

- a) 反应堆保护系统的设备；
- b) 用于事故后监测的装置，例如事故后堆顶小室和反应堆厂房辐射监测装置；
- c) 用于反应堆保护的反应堆容器燃料溶液液位和压力的监测装置；
- d) 用于反应堆保护的气体回路中 H₂ 浓度监测装置；
- e) 应急电源系统设备等。

(2) 非安全级

安全级以外的电气设备属于非安全级。

对非安全级电气设备应当区别对待，其中属于安全重要的应列为 NNS (S) 类 (SR)

级)。

NNS (S) 类 (SR 级) 电气设备的例子有:

- a) 燃料溶液暂存罐液位监测装置;
- b) 燃料溶液温度监测装置;
- c) 补酸箱液位监测装置等。

4.5 构筑物的安全分级

构筑物划分为安全级和非安全级两大类。

(1) 安全级

安全级适用于包容放射性物质、其失效可能使或厂区人员所受照射超过限值的构筑物, 对安全级设备起保护作用的构筑物以及作为最终热阱的构筑物。

安全级构筑物的例子有:

- a) 包容一次边界的构筑物;
- b) 反应堆水池;

(2) 非安全级

非安全级适用于安全级以外的所有构筑物。

4.6 接口装置的安全分级

不同安全等级的物项之间的连接应使用接口装置 (如隔离阀、节流阀、孔板等)。接口装置的安全等级与所连接的两个安全等级的较高者相同。

5 规范等级

参照 HAD102/02 及 HAF J0066 有关规定, MIPR 系统、部件和构筑物以及电气设备在确定规范等级及相应的设计、建造要求时, 首先要考虑安全等级, 其次还要考虑物项的运行条件 (压力、温度、载荷循环情况等)。

安全级系统、部件的设计和制造应遵循美国机械工程师协会标准《ASME 锅炉及压力容器规范》第 III 篇“核动力装置”第 1 册, ND 分册 (三级设备) 和 NF 分册总件支承中的有关规定。非安全级中 S 类系统、部件的设计和制造要求应与民用设备中最高规范和标准一致, 同时还应增加与安全重要性相适应的补充设计和制造要求。

其他领域的物项 (如电气、构筑物和某些非承压机械设备) 也都需要按照相应的标准或规范设计建造, 但这些标准或规范一般不划分等级, 而是直接根据物项的安全等级提出设计建造要求 (如电气系统和设备的标准中就没有规定规范等级, 而是直接针对 1E 级、SR 级提出设计建造和鉴定要求)。在这种情况下, 仪表、控制和电气设备采用国内已制定的国家标准和核行业标准, 对国内尚未制定的标准可采用 IEEE 标准; 核安全级的构筑物除应遵循我国土建设计规范外, 还可参照美国 AC1349 等规范的有关的规定。

6 抗震分类

应根据物项所执行的安全功能和发生地震时对物项的特殊要求确定物项的抗震类

别。MIPR 的系统、部件和构筑物的抗震要求可分为三类：抗震 I 类、抗震 II 类、常规抗震类。

(1) 抗震 I 类

抗震 I 类指必须按照极限安全地震动和运行安全地震动的抗震要求进行设计的构筑物、系统和部件。

具有下述安全功能的系统、部件和构筑物属于抗震 I 类：

——保证包括堆芯容器在内的一次边界的完整性；

——确保安全停堆能力并维持反应堆在安全停堆状态；

——确保堆芯余热能够排出；

——确保防止或缓解事故后果的能力，防止在事故下造成过量的放射性释放，引起厂外照射水平达到或超过规范允许限值。

安全级的物项要求在发生极限安全地震动时仍能保持其安全功能，属于抗震 I 类。

(2) 抗震 II 类

必须按照运行安全地震动的抗震要求进行设计的构筑物、系统和部件。安全级系统、部件和构筑物中除抗震 I 类以外，其他的构筑物、系统和部件均属抗震 II 类。

当发生运行安全地震动以下的地震时，为 MIPR 能继续运行又不对居民的健康和安全造成不合适风险所必须的那些构筑物、系统和部件均能保持其功能。

(3) 常规抗震类

不要求按照极限安全地震动和运行安全地震动的抗震要求来设计和建造的构筑物、系统和部件，可按国家现行的抗震设计规范进行抗震设计。

属于 1E 级的电气设备，在抗震要求上原则划分为抗震 I 类，按极限安全地震动进行设计。但经过论证或采用冗余设计提高可考性后可将属 1E 级的电气设备按抗震 II 类设计。非 1E 级的电气设备无特殊的抗震要求。

关于不同抗震类别物项的相互影响，作如下考虑，当 MIPR 内属于抗震 II 类或常规抗震类的物项，当其破坏或功能丧失可能危及高一类物项时，则将该物项归入被危及物项的同一类别。

7 质量保证分级

HAF003《核电厂质量保证安全规定》要求“必须确定质量保证大纲所适用的物项、服务和工艺。对这些物项、服务和工艺必须规定相应的控制和验证的方法或水平。根据已确定的物项对安全的重要性，所有大纲必须相应地制定出控制和验证影响该物项质量活动的规定。”

HAD003/01《核电厂质量保证大纲的制定》对上述要求作了进一步的阐述，该导则为物项和服务选用适当的质保要求提供了具体的指导。根据 HAF J0045《量保证分级手册》中有关质量保证分级方法的要求，MIPR 各物项质量保证等级的高低首先要依据其安全功能和运行的重要性，其次还要考虑设计建造经验、工艺成熟性、运动部件

的多寡、供货史、标准化程度等多种因素。

MIPR 物项质量保证分为三个等级，即：

质量保证 1 级 QA1

质量保证 2 级 QA2

非核质量保证级 QAN

原则上安全等级高则质量保证等级高。但由于多种因素的影响（如制造工艺的复杂程度和经验等），质量保证等级与安全等级并不一一对应。仪表和控制系统及其供电设备的质量保证可执行 GB/T15475 的规定。

7.1 质量保证 1 级

MIPR 质量保证 1 级适用于

- (1) 全部安全级和大部分非安全级机械设备中的 S 类(主要是泵、自动阀等)；
- (2) 反应堆容器内部构件、控制棒驱动机构等；
- (3) 为安全停堆、排出余热、密封厂房隔离以及事故后监测等提供信号、触发和驱动动力的安全级电气设备；
- (4) 包容放射性的容器及构筑物；
- (5) 燃料及相关组件。

QA1 级要求遵守 HAF003 的全部适用要求，具体的控制、验证方法和水平需根据设计单位和承包商的设计建造经验、设备供应商的工艺成熟性、供货史等因素另行制定。

7.2 质量保证 2 级

MIPR 质量保证 2 级适用于 6.1 以外的所有有特殊要求的 S 类物项，包括非安全级机械设备中的 S 类，电气设备中的 SR 级物项。

QA2 级要求遵守 HAF003 的全部适用要求，具体的控制、验证方法和水平需根据设计单位和承包商的设计建造经验、设备供应商的工艺成熟性、供货史等因素另行制定。

7.3 非核质量保证级

QA1、QA2 以外的物项归入非核质量保证级 QAN。QAN 级可以执行 ISO9000 系列质量保证标准。

附录 MIPR 主要系统、部件和构筑物分级

MIPR 主要系统、部件和构筑物分级表

| 序号 | 名称 | 安全等级 | 质保等级 | 抗震类别 | 适用标准规范 |
|----|----------------|--------|------|------|-------------|
| 1 | 反应堆堆芯及堆内构件 | | | | |
| | 1.1 反应堆容器 | SC | QA1 | 1 | ASME-III-ND |
| | 1.2 堆容器支架构件 | SC | QA1 | 1 | ASME-III-ND |
| | 1.3 控制棒 | SC | QA1 | 1 | EJ324-88 |
| | 1.4 控制棒导管 | SC | QA1 | 1 | ASME-III-ND |
| | 1.5 控制棒驱动机构 | NNS(S) | QA1 | 1 | EJ333-88 |
| | 1.6 堆芯冷却水盘管 | SC | QA1 | 1 | ASME-III-ND |
| | 1.7 中子源 | NNS(S) | QA1 | 1 | ASME-III-ND |
| | 1.8 堆芯除滴器 | NNS(S) | QA2 | II | |
| 2 | 燃料溶液输送系统 | | | | |
| | 2.1 燃料溶液贮存容器 | SC | QA1 | 1 | ASME-III-ND |
| | 2.3 管道和阀门 | SC | QA1 | 1 | ASME-III-ND |
| | 2.4 同位素提取柱 | SC | QA1 | 1 | ASME-III-ND |
| | 2.5 燃料溶液贮存容器水池 | NNS(S) | QA2 | II | |
| | 2.6 紧急排料系统 | SC | QA1 | 1 | |
| 3 | 气回路系统 | | | | |
| | 3.1 喷淋泵壳体 | SC | QA1 | 1 | ASME-III-ND |
| | 3.2 补酸水箱 | SC | QA1 | 1 | |
| | 3.3 气水分离器壳体 | SC | QA1 | 1 | ASME-III-ND |
| | 3.4 除碘器壳体 | SC | QA1 | 1 | ASME-III-ND |
| | 3.5 氢氧合成室壳体 | SC | QA1 | 1 | ASME-III-ND |
| | 3.6 管道和阀门 | SC | QA1 | 1 | ASME-III-ND |
| | 3.7 高、低压气体储存罐 | SC | QA1 | 1 | |

MIPR 主要构筑物、系统和部件分级表（续表 1）

| 序号 | 名称 | 安全等级 | 质保等级 | 抗震类别 | 适用的规范 |
|----|---|--------|------|------|--------------|
| 4 | 一次冷却系统 | | | | |
| | 4.1 一次冷却水泵 | NNS(S) | QA2 | NA | |
| | 4.2 二次热交换器一次侧 | NNS(S) | QA2 | NA | |
| | 4.3 二次冷却水泵 | NNS(S) | QA2 | NA | |
| | 4.4 管路与阀门 | NNS(S) | QA2 | NA | |
| 5 | 二次冷却系统 | | | | |
| | 二次热交换器二次侧 | NNS | QAN | NA | |
| 6 | 辅助系统 | | | | |
| | 5.1 水池净化系统 | NNS(S) | QA2 | NA | |
| | 5.2 造水补水系统 | NNS | QAN | NA | |
| | 5.3 辐射监测系统（事故后监测除外） | NNS | QAN | NA | |
| | 5.4 放射性废气贮罐 | NNS(S) | QA1 | 1 | |
| | 5.5 放射性废液收集贮罐 | NNS(S) | QA1 | 1 | |
| | 5.6 通风系统 | NNS(S) | QA2 | NA | |
| | 5.7 事故后小排量通风系统 | SC | QA1 | 1 | |
| 6 | 控制和电气系统 | | | | |
| | 6.1 反应堆保护系统 | 1E | QA1 | 1 | GB12789.1-91 |
| | 6.2 与核安全有关的探测与信号系统（包括事故后剂量监测、H2 浓度监测、功率监测等） | 1E | QA1 | 1 | GB12789.1-91 |
| | 6.3 应急电源系统 | 1E | QA1 | 1 | GB13625-92 |
| | 6.4 主控制室系统 | SR | QA2 | II | |

MIPR 主要构筑物、系统和部件分级表（续完）

| 序号 | 名称 | 安全等级 | 质保等级 | 抗震类别 | 适用的规范 |
|----|----------------|--------|------|------|------------------------------|
| 7 | 构筑物 | | | | |
| | 7.1 堆顶密封小室及堆水池 | SC | QA1 | 1 | GB50267-97 GBJ10-89 |
| | 7.3 堆厅密封厂房 | NNS | QA2 | 1 | ASME-II 中“混凝土反应堆容器及安全壳”中有关规定 |
| | 7.5 放射性废液收集池 | NNS(S) | QA1 | 1 | GB50267-97 GBJ10-89 |
| | 7.6 放射性废物处理间 | NNS(S) | QA1 | 1 | GB50267-97 GBJ10-89 |
| | 7.7 大热室 | NNS(S) | QA1 | 1 | GB50267-97 GBJ10-89 |
| | 7.8 主控制室 | SR | QA2 | II | |
| | 7.9 应急停堆点 | SC | QA1 | 1 | |

本准则由中国核动力研究设计院提出

本准则由中国核动力研究设计院组织编写

编写人：牛文华 吴英华

校核人：宋小明

医用同位素生产堆（MIPR） 事故分析准则

1 主题内容与适用范围

本准则规定了医用同位素生产堆（MIPR）事故分析应满足的要求。

本准则适用于医用同位素生产堆（MIPR）事故分析。

2 引用文件

| | |
|-----------|-------------------------|
| HAF201 | 研究堆设计安全规定 |
| HAF2000-2 | 研究堆运行安全规定 |
| HAD201/01 | 研究堆安全分析报告的格式和内容 |
| GB18871 | 电离辐射防护与辐射源安全基本标准 |
| GB6249-86 | 核电厂环境辐射安全规定 |
| | 医用同位素生产堆（MIPR）安全设计准则 |
| | 医用同位素生产堆（MIPR）运行及事故工况分类 |

3 术语和定义

本章无内容。

4 总的原则

4.1 医用同位素生产堆（MIPR）事故分析应遵守“研究堆设计安全规定”和“医用同位素生产堆（MIPR）安全设计准则”有关的规定和要求。

4.2 医用同位素生产堆（MIPR）的事故分析应包括医用同位素生产堆（MIPR）的过程变量假想波动、假想设备误动作或故障、操纵员误动作以及外部事件的分析。

4.3 事故分析中应用的计算机程序、分析方法和模型应加以验证，并应充分考虑各种不确定性。

4.4 事故分析的结果应能证明：

- 1) 在运行状态和事故状态下，反应堆应能实现安全停堆并保持安全停堆状态；
- 2) 在运行状态和事故状态停堆之后，能有效地排出堆芯余热；
- 3) 在运行状态和事故状态期间，放射性物质释放造成的辐射剂量应低于规定限值。

5 分析范围与工况

5.1 按照预计事件发生频率和潜在的放射性后果对公众的影响，医用同位素生产堆（MIPR）可分为正常运行、预计运行事件和事故工况。事故工况包括设计基准事故和超设计基准事故。

5.2 正常运行

例如：

- 1) 启堆过程；

- 2) 功率运行;
- 3) 停堆;
- 4) 燃料溶液从堆芯排出及循环;
- 5) 燃料溶液在燃料溶液暂存罐暂存;
- 6) 燃料溶液返回堆芯;
- 7) 堆芯填加燃料溶液;
- 8) 堆维护及试验等工况。

5.3 预计运行事件

例如:

- 1) 全厂断电;
- 2) 水泵故障、阀门故障以及冷却管道泄漏等引起的反应堆冷却剂流量降低;
- 3) 反应堆冷却剂水温变化;
- 4) 反应堆气回路氢浓度升高;
- 5) 排氮系统故障;
- 6) 反应堆气回路微漏;
- 7) 反应堆燃料溶液输运系统滴漏。

5.4 设计基准事故工况

例如:

- 1) 冷却剂泵卡转子导致冷却剂快速断流;
- 2) 气回路喷淋泵卡转子导致气回路断流;
- 3) 堆芯冷却盘管破损;
- 4) 燃料溶液输送管破损;
- 5) 补酸系统故障;
- 6) 气回路边界产生泄漏;
- 7) 同位素生产过程放射性泄漏;
- 8) 反应性事故。

5.5 超设计基准事故工况

例如: 氢爆。

6 分析方法

6.1 运行工况明细表及其分类

编制运行工况明细表并对各种运行工况进行分类,以便找出每类工况中具有代表性的包络工况做为事故分析的对象,进而确定每类事故工况的分析内容和每个事件的事件序列。

6.2 设计基准事故分析的基本假设

6.2.1 在事故分析中,应保守地选择反应堆的初始条件,尤其应考虑最不利的初始功率

水平和功率分布。

6.2.2 在事故分析中，应假设反应堆控制系统无效，除非能证明控制系统有效情况下的事故后果更严重。

6.2.3 在事故分析中，应对有关重要组合考虑单一故障准则。

6.2.4 在事故分析中，总是考虑具有瞬态特征的第一紧急停堆信号，并应考虑通道滞后时间和紧急停堆信号整定值的误差。同时，应考虑卡棒准则。

6.2.5 物理参数应取保守值，以保证得到瞬态分析的最不利的结果。

6.2.6 在事故分析中，应考虑厂外电源的影响。

6.3 超设计基准事故分析的基本假设

6.3.1 反应堆初始状态的参数采用现实性假设；

6.3.2 控制系统正常运行；

6.3.3 可以要求使用非安全级的系统和设备，但应证明这些系统和设备在预期环境下可用；

6.3.4 不应用单一故障准则；

6.3.5 电网供电保持可用状态（全厂断电工况除外）；

6.3.6 剩余功率按照堆芯的燃耗计算，不留裕量；

6.3.7 各个系统启动的起始时间按实际情况确定。

6.4 计算模型

在事故分析中，应采用能真实地或保守地模拟反应堆堆芯和系统行为的物理模型。所采用的计算机程序应通过适当的验证（如：工程应用经验、类似反应堆运行数据的校验等），以证明其成熟性和可靠性。

6.5 操作人员的干预行动

在事故分析中，应给出需要操作人员采取干预行动的规定。

7 验收准则

7.1 正常运行

正常运行工况可以引起某些物理参数变化，但不应达到触发保护系统开始动作的整定值。

7.2 预计运行事件

在预计运行事件过程中，当达到预定的整定值时，保护系统触发反应堆停堆。然后，在采取了必要的纠正措施后，反应堆便可恢复运行，其验收准则是：

- 1) 一个独立的预计运行事件，应不导致后果更为严重的事故工况发生，尤其是预计运行事件不应引起任何包容的损坏；
- 2) 燃料溶液最高温度应低于其沸点温度；
- 3) 反应堆系统压力不得超过规定的压力限值。

7.3 设计基准事故工况

事故工况下，燃料溶液允许局部沸腾，不允许发生整体（体积）沸腾，反应堆系统的最大压力不超过规定的压力限值。每次事故公众中任何个人可能受到的有效剂量当量小于 5mSv 和甲状腺剂量当量小于 50mSv。

7.4 超设计基准事故工况

超设计基准事故工况是医用同位素生产堆寿期内预计极不可能发生的假想事故。其后果应不会导致反应堆系统的最大压力超过规定的压力限值。公众中个人所受的照射剂量不超过 10mSv 和甲状腺剂量当量小于 100mSv。

本设计准则由中国核动力研究设计院提出

本设计准则由中国核动力研究设计院组织编写

编写人：魏永仁 洪永汉

校核人：江光明

医用同位素生产堆（MIPR）燃料溶液设计准则

1 主题内容与适用范围

本准则规定了医用同位素生产堆（MIPR）用 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料溶液的 ^{235}U 富集度、铀浓度、纯度和酸度的设计原则和复用要求。

本准则适用于 MIPR $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料溶液的设计。

2 引用文件

- HAF201 研究堆设计安全规定
- GB/T10265 核级可烧结 UO_2 粉末技术条件
- GB18871 电离辐射防护与辐射源安全基本标准
- EJ380 开放型放射性物质实验室辐射防护设计规范

3 术语和定义

本章无内容

4 总的设计原则

反应堆燃料溶液设计应全面考虑中子学、热工、材料、化学和辐照等因素。针对 MIPR 燃料溶液的特点， $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料溶液的设计应保证运行的稳定性并满足 MIPR 20 年重复使用的要求； ^{235}U 富集度、铀浓度应满足医用同位素（ ^{99}Mo 、 ^{131}I 等）生产要求，同时对堆芯容器和燃料溶液输运系统不产生严重腐蚀，以降低材料选择要求。

5 设计要求

5.1 燃料溶液 ^{235}U 富集度和铀浓度设计要求

为了减少 α 杂质元素（如 ^{239}Pu 、 ^{240}Pu 等）对所提取医用同位素产品的沾污，原则上要求 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料溶液中的 ^{235}U 的富集度越高越好，为了提高医用同位素（ ^{99}Mo 、 ^{131}I 等）的提取率，原则上要求铀浓度越低越好，为此，设计的 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料溶液在 MIPR 运行寿期内的 ^{235}U 富集度应高于 80%，为了扩大堆芯容积，铀浓度应尽量低。

5.2 燃料溶液杂质含量设计要求

为了 MIPR 在运行过程中 UO_2^{+2} 离子不被辐射分解产生的 H_2O_2 沉淀， $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料溶液应保持一定浓度的阳离子（如 Cu^{+2} ，裂变产物元素离子）催化 H_2O_2 分解， $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料溶液杂质含量应参照 GB/T 10265 相关要求，但为了保证堆芯容器和燃料溶液输运系统不被严重腐蚀， $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料溶液中的 F^{-1} 和 Cl^{-1} 离子浓度应低于 0.1mg/L。

5.3 燃料溶液酸度设计准则

为了确保 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料溶液中的 UO_2^{+2} 不水解沉淀，并确保 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料溶液所接触到材料不严重腐蚀，新加 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料溶液的 HNO_3 浓度应为 0.2mol/L，在 MIPR 运行寿期内， $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料溶液中的 HNO_3 浓度应保持在 0.1~0.3mol/L。

5.4 燃料溶液复用设计要求

从 MIPR 燃料溶液中提取所需医用放射性同位素后，不能改变 MIPR 燃料溶液体系，不能引入原体系外的任何杂质元素，不能改变原体系的 HNO_3 浓度范围。

当裂变产物积累增加影响提取同位素的质量、增加辐照剂量、减少核反应性时，燃料溶液必须纯化，纯化后燃料溶液不引入其它杂质并满足 5.1 和 5.3 要求。

附录： MIPR 燃料溶液的性能特性和技术要求

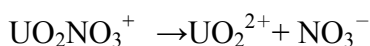
1、硝酸铀酰及其水溶液的化学性质

1.1 硝酸铀酰的热稳定性

硝酸铀酰($\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$)，除无水化合物外，还有一水合物($\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)，二水合物($\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)，三水合物($\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)和六水合物($\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)。 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 在高温下发生热分解，其热分解式为： $2\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \rightarrow 2\text{UO}_3 + 4\text{NO}_2 + \text{O}_2$ 在水溶液中 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 发生一次分解：



当浓度低于 0.01mol/L 时发生二次分解：



在水蒸气压为一个大气压时，硝酸铀酰水合物的沸点为：一水合物：292℃，二水合物：281℃，三水合物 176℃，六水合物：128℃。

1.2 硝酸铀酰在水中的溶解度

硝酸铀酰在水中的溶解度随着溶液温度升高而增加，如 70℃时百分浓度为 77.25%，100℃时百分浓度为 82.57%，但在 184℃硝酸铀酰发生分解。另外在自由硝酸浓度降低溶液温度升高时，硝酸铀酰水溶液也会发生水解生成 UO_3 沉淀。在常温下，当自由硝酸浓度低于 0.001mol/L 时，硝酸铀酰水溶液也会慢慢水解生成 UO_3 沉淀。

1.3 硝酸铀酰水溶液的辐射稳定性

1.3.1 硝酸铀酰水溶液在裂变产物的作用下，溶液中的水发生辐射分解生成一倍体

积的氧气和二倍体积的氢气，其反应式为： $2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{裂变产物}} \text{O}_2 + 2\text{H}_2$

1.3.2 硝酸铀酰水溶液中的水在裂变产物的作用下，可产生辐射分解产物 H_2O_2 ，

H_2O_2 可与 UO_2^{2+} 反应生成 UO_4 ， UO_4 的溶解度约为 10^{-3}mol/L ，当 H_2O_2 浓度过大时， UO_4 的浓度大于 UO_4 的溶解度， UO_4 将发生沉淀。在溶液中加入少量金属杂质离子（如 Cu^{2+} ，裂变产物离子等），可破坏水辐射分解生成的 H_2O_2 ，可避免生成 UO_4 沉淀。

1.3.3 硝酸铀酰水溶液中的 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 在裂变产物的作用下，可发生辐射分解生成少量的氮气 (N_2)，其产生氮气体量与溶液核反应堆功率和溶液中的 NO_3^- 浓度成正比。当硝酸铀酰水溶液的铀浓度小于 170g/L，溶液的 $\text{PH} < 2$ 时，氮气产生量约为 2.58mL/min/KW。

2、硝酸铀酰水溶液的物理性质

2.1 硝酸铀酰水溶液的密度

随着硝酸铀酰浓度的增加硝酸铀酰水溶液的密度增加，在 25℃时，硝酸铀酰水溶液的密度可用以下公式描述：

$$D_4^{25} = X_1(a + bX_1) + 0.99704X_2 \quad (1)$$

其中 X_1 为 $UO_2(NO_3)_2$ 的克分子分数， X_2 为水的克分子分数， a 和 b 为常数 ($a=18.95$; $b=-59$) 为便于计算此公式可简化为：

$$D_4^{25} = X_1(a - 1 + bX_1) + 0.99704 \quad (2)$$

按此公式(2)计算得到的硝酸铀酰水溶液的密度平均误差小于 0.2%。

2.2 硝酸铀酰水溶液的粘度

硝酸铀酰水溶液的粘度随着 UO_3 百分浓度增加而增加，随溶液温度增加而减小，具体数据见附件。

2.3 硝酸铀酰溶液的导热系数

目前还未查到有关 $UO_3-HNO_3-H_2O$ 体系的导热系数，但由于 MIPR 燃料溶液 ($UO_2(NO_3)_2$ 水溶液)的铀百分浓度小于 5% ($<50g/L$)， HNO_3 浓度仅为 0.1-0.3mol/L，因此根据 $Th(NO_3)_4$ 水溶液的导热系数与 $UO_2(NO_3)_2$ 水溶液导热系数相近推算，确定硝酸铀酰水溶液的导热系数比水的导热系数略低于 10mW/mk，水从 0℃到 80℃,导热系数为 551-675 mW/mk，故从 0℃到 80℃,MIPR 硝酸铀酰水溶液的导热系数约为 540-665 mW/mk。

2.4 硝酸铀酰水溶液的热容

硝酸铀酰水溶液的热容随着 $UO_2(NO_3)_2$ 的百分浓度增加而降低（具体数据见附件）。 $UO_2(NO_3)_2$ 固体及其水合物溶解于水时产生溶解热，最新的溶解热数据见下表，表中的溶解热是将 1mol 固体溶解于 180mol 水得到的，负号表示热量损失于环境中，其它详细数据见附件。

| 化合物 | 溶解热 (kcal/mol of solid) |
|----------------------------|-------------------------|
| $UO_2(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ | -5.37±0.06 |
| $UO_2(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$ | -1.66±0.05 |
| $UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ | 5.48±0.03 |

3、MIPR 燃料溶液的技术要求

3.1 根据主要医用同位素的提取要求和燃料溶液的纯化处理要求，MIPR 燃料溶液将采用硝酸铀酰水溶液。

3.2 为了便于主要医用同位素的提取和堆的正常运行，MIPR 燃料溶液的 $UO_2(NO_3)_2$ 浓度应尽量低（如 $<50g/L$ ），因此必须采用高富集度的浓缩铀（ ^{235}U 的富集度 $>80\%$ ）。

3.3 为了让金属离子催化破坏水辐射分解产生的 H_2O_2 ，避免 UO_2^{2+} 被沉淀，对 MIPR 燃料溶液的金属杂质没有特殊要求，但为了确保 MIPR 的堆芯容器和输运管道的不锈钢材料不被快速腐蚀，要求 MIPR 燃料溶液中的 F^- 和 Cl^- 离子浓度尽量低，如应低于 0.1mg/L。

- 3.4 为了确保 MIPR 燃料溶液中的 UO_2^{2+} 不水解沉淀，并确保 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料溶液所接触到的材料不严重腐蚀，初加燃料溶液的自由 HNO_3 浓度应为 0.2mol/L ，并采取补酸措施，使 MIPR 燃料溶液在整个运行过程中，自由 HNO_3 的浓度在 $0.1\text{-}0.3\text{mol/L}$ 范围内。
- 3.5 从燃料溶液中提取主要医用同位素和定期纯化处理燃料溶液时，不能改变 MIPR 燃料体系和 HNO_3 的浓度范围，不能引入原体系外的任何有害杂质元素。

本设计准则由中国核动力研究设计院提出

本设计准则由中国核动力研究设计院组织编写

编写人：李茂良 蒋有荣 李映发

校核人：程作用

医用同位素生产堆（MIPR）核设计准则

1 主题内容和适用范围

本准则规定了 MIPR 堆芯核设计的基本要求。

本准则适用于 MIPR 堆芯核设计。

2 引用文件

| | |
|-----------|-----------------|
| HAF201 | 研究堆设计安全规定 |
| HAD201/01 | 研究堆安全分析报告的格式和内容 |
| HAD102/07 | 核电厂堆芯的安全设计 |
| HAF102/15 | 核电厂燃料装卸和储存系统 |

3 术语和定义

3.1 气泡效应

在 MIPR 中，裂变碎片与 H_2O 分子或 NO_3^- 离子碰撞产生的 H_2 、 O_2 和 N_2 等气体在堆芯内形成气泡，对堆芯反应性、功率及功率分布产生的影响。

4 要求

4.1 基本要求

4.1.1 应考虑反应堆物理、热工、控制、屏蔽、结构等因素，给出合理的堆芯核设计，至少包含以下内容：

- 反应堆堆芯描述（堆芯容器形状、堆芯液面高度、堆芯相关结构等）
- 燃料溶液名义浓度、酸度及 ^{235}U 装载量；
- 堆芯反应性随燃料溶液浓度变化曲线；
- 冷、热态工况下， ^{235}U 临界装载量随燃料溶液浓度变化曲线；
- 控制棒分组及布置；
- 确定稳定运行的堆芯最高功率密度；
- 给出初始反应性分配；
- 给出反应堆动力学参数。

4.1.2 反应堆初始燃料装载量应提供适宜的后备反应性，在补料周期满足同位素生产要求的前提下，尽量减少堆芯后备反应性。

4.2 功率分布控制

4.2.1 确定优化的、适用的控制棒提、插程序；

4.2.2 应给出堆芯径向功率分布、轴向功率分布以及功率峰因子；功率分布的计算应考虑堆芯气泡效应；

4.2.3 功率分布应满足热工水力设计的要求；

4.2.4 在堆芯可以稳定运行的最大功率下，功率分布应具有内在的稳定性。设计应特别考虑气泡效应对反应堆功率运行稳定性的影响。

4.3 堆芯反应性控制

4.3.1 应设置两套依据不同原理的、独立可靠的反应性控制系统；第一套停堆系统为机械控制棒停堆系统，第二套停堆系统为排料停堆系统；

4.3.2 控制棒系统必须满足单一故障准则，当最大价值的一根控制棒不能插入堆芯时，其余控制棒必须能使反应堆从运行工况或事故工况进入次临界状态，并有足够的停堆深度；

4.3.3 机械控制棒系统的反应性引入速率应满足运行安全要求；

4.3.4 机械控制棒系统应具有紧急快速停堆能力，控制棒的落棒时间应小于设计基准事故分析所确定的时间；

4.3.5 堆芯料液在稀释或浓缩条件下引入的反应性及反应性引入速率应满足运行安全要求，其中稀释应引入负反应性，浓缩引入正反应性的量在控制棒拒动下不应导致反应堆短周期事故；

4.3.6 控制棒系统必须具有安全地调节功率的能力，包括补偿某些反应性变化(如空泡份额变化、冷却剂温度变化、燃料燃耗变化、裂变产物产生的毒物浓度变化等)的能力，以保持反应堆运行在规定的限值范围内。

4.4 反应性系数

4.4.1 反应性系数包括堆芯的温度系数、气泡系数、功率系数；

4.4.2 应给出不同燃耗下、不同运行工况下的反应性系数；

4.4.3 在各种功率水平下运行时，温度系数应保持负值，使堆芯反应性具有负的反馈特性。

4.5 中子源

反应堆容器外部应装入启动中子源（一次中子源和二次中子源）。一次中子源和二次中子源强度，都应满足启堆安全要求。

4.6 燃料溶液贮存和运输

4.6.1 应按照 HAF102/15 中的有关要求，对新燃料溶液和乏燃料溶液的装卸、运输和贮存系统进行临界安全分析；

4.6.2 新燃料溶液或乏燃料溶液的运输、贮存系统的设计和临界安全分析，应以最高富集度的新燃料溶液贮存小桶全部浸没在水中为依据，同时对贮存小桶采用适当的几何布置，保证整个贮存系统的有效增殖系数不超过 0.95。

4.7 核设计的可信度

4.7.1 核设计所采用的计算程序应通过基准问题的检验，证明程序的理论模型和程序的编写是正确的；

4.7.2 核设计程序应通过其他类似反应堆运行实测数据的检验；

4.7.3 计算机程序中所使用的核数据应采用评价过的核数据库。

本设计准则由中国核动力研究设计院提出

本设计准则由中国核动力研究设计院组织编写

编写人：于颖锐 陈长

校核人：杨洪润

医用同位素生产堆 MIPR 热工水力设计准则

1 主题内容与适用范围

本准则规定了 MIPR 热工水力设计总的设计原则、设计基准和设计限值的确定原则。

本准则适用于 MIPR 的热工水力设计。

2 引用文件

| | |
|-----------|-----------------|
| HAF201 | 研究堆设计安全规定 |
| HAF201/01 | 研究堆安全分析报告的格式和内容 |
| | MIPR 安全设计准则 |
| | MIPR 运行及事故工况分类 |

3 术语和定义

本章无内容。

4 总的设计原则

4.1 MIPR 热工水力设计的总目标，是为反应堆提供与堆芯产生热量能力相匹配的传热能力，提供合理的热工参数，在保证限制放射性产物释放的三道屏障能满足各类工况的安全要求前提下，使反应堆具有良好的经济性。

4.2 在正常运行工况下，堆芯燃料溶液平均温度不高于规定的限值。因此，设计必须保证正常运行工况下的运行参数与它们的保护定值之间，留有足够大的安全裕量。

4.3 在预计运行事件下，最多只出现保护性停堆，而且在采取校正措施之后，能够比较快地恢复运行。

4.4 在事故工况下，不允许堆芯燃料溶液发生整体沸腾，反应堆能安全停堆且能维持在安全停堆状态，反应堆依靠非能动方式能够顺利排出堆芯剩余释热。

5 设计基准

根据上述的设计原则要求，MIPR 热工水力设计必须遵守下列设计基准。

5.1 燃料溶液温度设计基准

5.1.1 在正常运行工况下，堆芯燃料溶液平均温度应不高于规定的限值，并要为可能的事故工况留有足够的安全裕量。

5.1.2 在事故工况下，不允许堆芯燃料溶液发生整体沸腾。

5.1.3 计算燃料溶液温度的计算机程序应经过验证和认可，且应满足下列要求：

a) 计算程序中至少有一组配套使用的换热关系式和物性参数，它既能满足计算对象的几何条件和材料性质，又适合计算对象所处的温度、压力等工作环境；

b) 计算程序中的换热关系式应能考虑空泡的影响。

5.2 传热管内冷却剂流量设计基准

5.2.1 在正常运行工况下，传热管内冷却剂能够有效导出堆芯释热，保证堆芯燃料溶液

平均温度不高于规定的限值，保证反应堆的安全。

5.2.2 计算传热管内冷却剂温场、焓场和压降的计算机程序应经过验证和认可，且应满足下列要求：

- a) 计算程序中至少有一组配套使用的换热关系式和物性参数，它既能满足计算对象的几何条件和材料性质，又适合计算对象所处的温度、压力和流速等工作环境；
- b) 计算程序中至少有一组配套使用的压降关系式，能够计算出传热管内的压降。

5.3 其他设计基准

5.3.1 MIPR 热工水力设计应保证在传热管中不产生水力学流动不稳定。

5.3.2 传热管入口冷却剂温度选择，应综合考虑燃料溶液平均温度、传热管内冷却剂流量、一/二次侧换热器参数、二回路冷却剂参数等因素的影响，选取合理值。

5.3.3 MIPR 热工水力设计还应考虑传热管材料性能、传热管尺寸以及传热管布置等方面的设计限制。

6 确定热工水力设计限值需考虑的因素

6.1 热工水力设计限值通常由下列因素决定

- a) 燃料溶液不发生整体沸腾的温度阈值；
- b) 各种误差和不确定性的影响所留的裕量；
- c) 预计运行事件和事故工况所留的裕量；
- d) 其它应考虑裕量。

6.2 应考虑下列一些误差和不确定性对热工水力设计限值的影响

- a) 由于参数的测量误差、控制系统特性、环境温度等因素的影响，使反应堆功率、燃料溶液平均温度、传热管内冷却剂流量、传热管入口温度、溶液及传热管内冷却剂压力等在额定工况下偏离名义值运行；
- b) 计算机程序或在线系统计算的不准确性；
- c) 在稳态和瞬态过程中，堆芯功率分布因某种原因而产生的变化。

6.3 其他需要考虑的因素

反应堆热工水力设计限值的确定，除了应满足热工水力设计的安全要求之外，还应满足装置在其他方面的安全要求，同时应尽可能考虑设备的制造工艺等方面的要求。

本设计准则由中国核动力研究设计院提出

本设计准则由中国核动力研究设计院组织编写

编写人：张勇 鲁剑超

校核人：刘定明

医用同位素生产堆（MIPR） 反应堆容器及堆内构件结构设计准则

1. 主题内容与适用范围

本准则规定了 MIPR 反应堆容器及堆内构件设计应满足的基本要求。

本准则适用于 MIPR 反应堆容器和堆内构件的设计。

2. 引用文件

| | |
|--------|---|
| HAF201 | 研究堆设计安全规定 |
| HAF202 | 研究堆运行安全规定 |
| ASME | 《锅炉及压力容器规范》第三卷 核动力装置设备 第一册 ND 分册（三级设备）和 NF 分册（部件支承） 医用同位素生产堆（MIPR）安全设计准则 医用同位素生产堆（MIPR）运行及事故工况分类准则 医用同位素生产堆（MIPR）系统、部件和构筑物的安全功能和分级准则 |

3. 术语和定义

3.1 反应堆容器

用于包容核燃料水溶液堆芯的容器。

3.2 堆内构件

反应堆容器内所有承担功能的堆内功能构件和堆内支承构件,如换热盘管。

4 物项分级

4.1 安全等级，质量保证等级，抗震类别应符合“医用同位素生产堆（MIPR）系统、部件和构筑物的安全功能和分级准则”的规定。

4.2 反应堆容器及堆内构件的规范等级应符合 ASME《锅炉及压力容器规范》第三卷 核动力装置设备 第一册 ND 分册（三级设备）和 NF 分册（部件支承）的规定。

5. 设计原则

反应堆容器及堆内构件的设计应符合 HAF201“研究堆设计安全规定”，HAF202“研究堆运行安全规定”，ASME“《锅炉及压力容器规范》第三卷 核动力装置设备 第一册 ND 分册（三级设备）和 NF 分册（部件支承）”和“医用同位素生产堆（MIPR）安全设计准则”，“医用同位素生产堆（MIPR）运行及事故工况分类准则”的相应规定。

反应堆容器及堆内构件的设计温度和设计压力应符合 ASME“《锅炉及压力容器规范》第三卷 核动力装置设备 第一册 ND 分册（三级设备）和 NF 分册（部件支承）”的相关规定。

5.1 安全原则

5.1.1 在正常运行工况和预计运行事件工况下，反应堆容器及堆内构件不得发生渐进性变形失效和疲劳失效，能确保控制棒顺利插入堆芯，并有效导出核反应产生的裂变热。

5.1.2 在事故工况下，反应堆容器不允许塑性变形，堆内构件允许局部的塑性变形，但不应妨碍停堆和余热排出。

5.2 更换原则

反应堆容器及堆内构件设计应便于更换。

6. 功能要求

6.1 反应堆容器功能

6.1.1 反应堆容器包容堆燃料溶液，保证结构完整性，确保燃料溶液和裂变气体不泄漏；

6.1.2 包容并固定堆内功能构件和堆内支承结构件。

6.2 堆内构件功能

6.2.1 为堆内导出堆内核裂变热和衰变热；

6.2.2 为控制棒提供径向定位，并为控制棒的升、降提供导向；

6.2.3 防止燃料溶液进入气回路；

6.2.4 为测量燃料溶液温度、液位等提供测量通道；

6.2.5 提供气流分配通道；

6.2.6 提供燃料溶液进、出堆内通道。

7. 材料要求

7.1 反应堆容器及堆内构件必须按其使用条件（如承受的应力、应变、温度、腐蚀及中子辐照损伤等）及制造工艺要求合理地选择材料，并注意材料相互之间以及材料与反应堆冷却剂之间的相容性，使用的材料（包括结构材料、焊接材料）必须符合相应规范，标准或有关技术条件的要求。

7.2 对选用的结构材料、焊接材料及焊接件应根据使用条件及工艺要求进行评价；当工艺变化时，应进行重新评价。这种评价应由主管部门组织进行，并以文件形式提供评价或认可的充分依据。

8. 结构设计要求

8.1 反应堆容器和堆内构件的结构应按照规范的要求进行设计。应确保功能要求，应充分考虑反应堆容器及堆内构件的强度、刚度和密封结构的紧密性，同时有利于余热导出。结构应力求简单，尽量减少机械连接件的数量，并应考虑制造的可行性。

8.2 反应堆容器的几何形状在正常工况下应保证满足堆芯设计要求，事故工况下应保证反应堆的安全。

8.3 反应堆容器及堆内构件设计应考虑与之相连管系的可拆性，接管的结构形式应符合规范或设计规格书的规定。

8.4 传热管设计应考虑换热能力和停堆后余热导出，进入传热管内的冷却剂流量应合理

分配。

8.5 结构中所有重要的焊缝都必须采用全焊透焊缝，焊接接头应尽可能少，其形式应有利于减少焊接变形及残余应力。确定焊缝位置应保证设置合理分布和流量合理分配，保证反应堆热量导出；并满足抗流致振动要求。反应堆容器及堆内构件的焊接工艺评定、焊接和焊后的检查必须符合相关规范和焊接技术条件的要求。

8.6 反应堆容器及堆内构件的机械加工包括切削，成形，弯曲，装配和对中都必须满足规范和设计规格书的要求，并根据规范和设计规格书的要求制定机械加工，工艺评定和加工后检查的技术条件。

8.7 应尽可能减少结构不连续部位的局部应力。

8.8 应避免形成容易积聚腐蚀产物的死角。

8.9 堆内构件中使用的螺钉、螺帽、销钉等连接件都要有可靠的防松措施。

8.10 应考虑与其接触的部件和设备的接口要求，接口位置应合理配置，便于维修和检验。

8.11 应考虑反应堆容器在役检查的可达性和可检验性。

8.12 应考虑到整体吊装、运输安装等方面的要求。

9. 力学分析

9.1 工况

反应堆容器及堆内构件的运行工况应符合“医用同位素生产堆（MIPR）运行及事故工况分类准则”的规定。

9.2 载荷条件

应考虑（但不限于）下列载荷：

- a) 反应堆气回路气体流动形成的压差；
- b) 反应堆容器及堆内结构件的自重；
- c) 燃料溶液及传热管内冷却剂施加的载荷；
- d) 地震载荷（SSE,OBE）；
- e) 支承或约束的反作用力；
- f) 温度效应、温度梯度和热胀差所引起的载荷；
- g) 气回路气体及传热管内冷却剂流动所产生的载荷；
- h) 由堆外冷管道破裂产生瞬时压差所引起的载荷；
- i) 振动载荷；
- j) 换料或在役检查过程中所产生的操作载荷。

9.3 载荷组合

在进行应力及变形评定时，必须对每种工况的载荷与使用环境条件对压力容器施加的一种或几种以上的载荷可能出现的组合作用进行考虑，评定的结果应符合有关规定限值。正常运行工况考虑 OBE 和其他载荷的组合；事故工况下的载荷考虑 SSE 和其他

载荷的组合。

9.4 应力分析

反应堆容器及堆内构件的应力分析应符合 ASME《锅炉及压力容器规范》第三卷核动力装置设备 第一册 ND 分册（三级设备）和 NF 分册（部件支承）相应规定。

9.4.1 反应堆容器推荐采用分析法设计，在设计基准地震分别与各种工况下各类载荷组合作用下，各类应力限值及变形应在 ASME III ND 分册规定的限值内。

9.4.2 反应堆容器结构设计应采用最大切应力强度理论及其对应的变形限值，应力分类及其限值应遵守 ASME III ND 分册规定。

9.4.3 所用材料的设计应力强度值（ S_m ）对奥氏钢，镍-铬-铁合金，镍-铁-铬合金为下列值中的最小值：

室温下规定的最小抗拉强度 S_u 的 1/3；

设计温度下最小抗拉强度 S_u 的 1/3；

室温下规定的最小屈服强度 S_y 的 2/3；

设计温度下屈服强度 S_y 的 90%，但不超过室温下规定的最小屈服强度 S_y 的 2/3。

9.4.4 设备支承件的设计方法应主要参考 ASME III NF 分册“设备支承件”，应根据支承件的类型和级别来确定所选用的设计方法，可以使用以下三种不同的设计方法：

a.分析法设计。当设备的设计是建立在力学分析的基础上时，可采用(1)TRESCA 准则；(2)最大应力理论；b. 实验应力分析法；c.额定载荷法。

9.5 变形限制

9.5.1 在正常运行工况和预计运行事故工况下，应限制反应堆容器和堆内构件的永久变形。

9.5.2 在事故工况下，限制堆内构件的弹塑性失稳和过量的永久变形量，以保证结构的完整性，保证导出余热和维持反应堆的停堆状态。

10 与其他部件的接口准则

反应堆容器应与一回路冷却剂出入口接管、气回路出入口接管、料液输送管、控制棒导向管等贯穿件可靠焊接，以保持整个第一道屏障的完整性，且相应的焊缝均应同反应堆容器具有相同的安全等级和抗震类别。

堆内构件与反应堆容器装配，应有可靠的径向定位，周向定位和支承，尽量减少部件的振动。

本设计准则由中国核动力研究设计院提出

本设计准则由中国核动力研究设计院组织编写

编写人：罗英 李映发 杨宇

校核人：扶靓虔

医用同位素生产堆（MIPR） 反应堆水池设计准则

1 主题内容与适用范围

本准则规定了 MIPR 反应堆水池设计的基本要求。

本准则适用于 MIPR 反应堆水池的设计。

2 引用文件

- HAF201 研究堆设计安全规定
- HAF202 研究堆运行安全规定
- HAFJ0002 含有有限量放射性物质核设施的抗震设计
- GB18871-2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准
- HAF0210 核电厂燃料装卸和贮存系统

3 术语和定义

3.1 反应堆水池

是反应堆容器安装就位及反应堆运行的场所。在反应堆容器周围充满去离子水，在反应堆运行时为反应堆提供辅助的冷却；在停堆期间为中间热阱导出堆芯余热，并起生物屏蔽作用。

4 功能要求

MIPR 反应堆水池应满足以下功能要求：

- a. 作为反应堆应急余热排出热阱，反应堆水池的水装量应具有足够的排热能力。
- b. 在反应堆功率运行及停堆检修时为反应堆提供满足剂量限值要求的生物屏蔽。
- c. 必须为反应堆容器及其水井的安装及在役检查提供足够的操作空间。
- d. 作为 MIPR 第二道包容屏障的一部分和堆顶小室的支撑。

5 安全等级及抗震类别

5.1 反应堆水池安全等级及抗震类别等的划分遵照《医用同位素生产堆（MIPR）系统、部件和构筑物的安全功能和分级准则》的有关规定。

5.2 反应堆水池的安全级别为安全级，抗震类别为抗震 I 类，质保等级为 QA1 级。

6 设计要求

6.1 反应堆水池应设计成带不锈钢覆面的钢筋砼整体结构，钢筋混凝土和不锈钢覆面之间应具有良好的结构相容性。

6.2 反应堆水池的所有贯穿件、堆顶小室均应同水池覆面可靠焊接，以保持整个第二道屏障的完整性，且贯穿件、堆顶小室与水池覆面的焊缝均应同水池覆面具有相同的安全等级和抗震类别。

6.3 设计中要考虑尽量减少焊缝，存在的焊缝应按照 ASME 规范或其它适用规范、标准的要求实施焊接，确保焊接质量满足要求。

- 6.4 水池覆面材料的选取不得因热应力、化学腐蚀及辐照效应而破坏反应堆水池的完整性。
- 6.5 反应堆水池混凝土材料及其设计厚度足以满足反应堆水池周围屏蔽及结构强度要求，反应堆水池周围为间断工作区，在反应堆运行及停堆工况下，反应堆水池周围的剂量率不得超过 $25 \mu \text{ Sv/h}$ 。
- 6.6 与反应堆水池相连的所有管道均不得因其水池外部分管道及与其相连管道的泄漏或破裂而导致池水意外排放。
- 6.7 设计应保证反应堆水池在正常运行和发生设计基准地震时，保持其完整性，水池覆面不得破裂而导致池水泄漏，水池不得倾覆。
- 6.8 反应堆水池混凝土结构不会因辐射发热而导致其密封及屏蔽功能受到损害。
- 6.9 必须为反应堆水池设置池水冷却、净化和补水系统。在应急排热工况下池水温度不得超过混凝土设计温度限值。
- 6.10 设计应考虑反应堆水池与堆芯容器等设备之间留有必要的安装空间。
- 6.11 反应堆水池的设计寿命为 60 年。

7 试验与检查

- 7.1 反应堆水池不锈钢覆面在安装结束后，应按 ASME 规范或其它适用规范、标准要求对覆面焊缝进行检验，以确认焊缝质量满足要求。
- 7.2 必须为反应堆水池设置水位监测系统。
- 7.3 反应堆水池不锈钢覆面的四周壁板和底板应设有检查和收集覆面渗漏的措施。

本设计准则由中国核动力研究设计院提出

本设计准则由中国核动力研究设计院组织编写

编写人：秦 忠

校核人：吴英华

医用同位素生产堆（MIPR） 料液输送和放射性同位素提取系统设计准则

1 主题内容与适用范围

本准则规定了 MIPR 料液输送和放射性同位素提取系统设计的设计准则。

本准则适用于 MIPR 料液输送和放射性同位素提取系统的设计。

2 引用文件

- HAF201 研究堆设计安全规定
- HAF202 研究堆运行安全规定
- EJ380-1989 开放型放射性物质实验室辐射防护设计规范
- GMP 国家食品药品监督管理局 药品生产质量管理规范

3 术语和定义

本章无内容。

4 系统组成

MIPR 料液输送和放射性同位素提取系统主要由燃料暂存罐、反应堆容器、放射性同位素提取柱和纯化柱、各种化学试剂贮存罐、泵等，以及连接以上设备的管道、阀门和有关的仪控设备组成。

5 总的原则

MIPR 料液输送和放射性同位素提取系统设计应满足以下总体原则：

- 1) MIPR 料液输送和放射性同位素提取系统设计的目标是在保证安全的前提下，提供可靠的、便利的输送通道和放射性同位素提取手段；
- 2) 料液输送和放射性同位素提取系统、设备的安全分级、抗震分类和质保分级要求遵照《医用同位素生产堆（MIPR）系统、部件和构筑物的安全功能和分级准则》的有关规定；
- 3) 料液输送和放射性同位素提取系统应满足有关的辐射防护设计准则的要求，特别是燃料溶液和放射性气体实施两层包容；
- 4) 料液输送和放射性同位素提取系统的设计必须满足次临界度要求。反应堆容器内的燃料溶液在进入系统前应将其温度降低到一定的限值，燃料溶液在系统内的剩余衰变热通过管道散热排出；
- 5) 料液输送和放射性同位素提取系统应具有高度密封性，输送介质的泄漏率尽量低，放射线物质的泄漏量对环境不造成放射性后果，确保工作人员与公众受照剂量不超过规定限值；
- 6) 料液输送和放射性同位素提取系统所采用的材料应具有强抗腐蚀能力，同时所有材料应不引起放射性同位素产品提取质量和效率的降低；
- 7) 料液输送和放射性同位素提取系统设备、阀门的设计和选择，以及设备、管

道的布置应保证在燃料输送和放射性同位素提取过程中燃料溶液、淋洗液和解析液的滞留尽量少；

8) 料液输送和放射性同位素提取系统的设计应尽量避免交叉污染；

9) 设计应采取有效的控制措施，防止向运行中的反应堆容器输送燃料溶液；

10) 系统设计应为操作人员提供足够的屏蔽，并使操作人员能在合理距离和尽量短的时间内完成操作，使操作人员所受辐照剂量低于规定限值；

11) 设计中必须考虑地震、火灾和水淹等各种假想事故下系统部件、设备的完整性和安全性；

12) 系统中必须配置可靠的仪器仪表和控制装置；

13) 系统所在厂房布置应遵循分区管理的原则。

6 设计要求

6.1 系统设计要求

6.1.1 燃料溶液的输送

燃料溶液输送系统包括两部分，一部分用于将料液从燃料溶液暂存罐内输送至反应堆容器，另一部分用于将反应堆容器内的燃料经同位素提取柱后返回燃料溶液暂存罐。

在将反应堆容器内的燃料溶液输送返回燃料溶液暂存罐的过程中，要求燃料溶液流量连续并稳定，禁止断流现象的发生。

燃料溶液输送系统管道、阀门和提取柱等设备的设计必须满足几何安全原则，确保无核临界事故的发生。

6.1.2 放射性同位素提取回路介质的输送

放射性同位素提取回路的介质主要包括各种浓度的淋洗液和解析液，在介质的输送过程中，要求介质流量满足放射性同位素提取工艺的要求，并且流速可调、流量连续并稳定，禁止断流现象的发生。

6.1.3 交叉污染的防止

为了防止料液与各种淋洗液、解析液之间发生交叉污染现象，应采取以下措施：

1) 系统内的设备应设计成能够尽量排空，管道和阀门内表面尽量光滑及尺寸在满足功能设计的前提下尽量小；

2) 输送料液与各种淋洗液、解析液的管线接口处采用无滞留死区的阀门（如三通球阀）连接；

3) 合理的进行设备和管道的布置，尽量避免倒 U 形管线的布置，如倒 U 形管线的设置不可避免，则应尽量降低 U 形管的高度；

4) 采取合适和可靠的淋洗和解析工艺流程，以避免交叉污染现象的发生。

6.2 机械设计要求

6.2.1 系统设备

料液输送和放射性同位素提取系统内输送放射性介质的设备，应具有良好的可操作性、可靠性。系统及设备必须具有可靠的密封性，系统内的能动设备，如泵和电动阀等的密封件必须易于更换和维修，应尽可能采用无泄漏的泵（如磁力驱动泵）和阀门。

由于料液输送和放射性同位素提取系统输送的是较高放射性的介质，系统内设备、阀门及管道的连接尽量采用焊接连接形式，仅在提取柱和纯化柱与系统的连接处考虑采用法兰连接形式。在每次更换提取柱和纯化柱后，要求对其进行水压试验，以保证连接处的密封性。

为防止系统内放射性介质的泄漏，在满足功能设计的前提下，系统设计上尽量采用低压力的运行参数。

6.2.2 系统使用的材料

由于料液输送和放射性同位素提取系统输送的介质具有较高放射性和腐蚀性，应对系统内的材料（包括金属材料和非金属材料）进行严格的选择。对于系统内采用的金属材料，要求采用奥氏体不锈钢，并必须满足晶间腐蚀试验准则的要求；对于非金属材料，要求具有较强的耐辐照性能和耐腐蚀性能。提取柱和纯化柱应采用具有一定透明度的非金属材料。

禁止使用能够直接进入系统内的材料，如油和易溶性材料等，以防止影响提取的同位素产品质量。

6.3 电气设计要求

本系统的电气设计应满足有关电气设计准则的规定。

6.4 仪表和控制设计要求

6.4.1 仪表设计要求

- 1) 本系统必须配备足够的、可靠的仪表，以保证系统正常和安全运行；
- 2) 本系统仪表必须能指示或记录监控系统及其设备所必需的参数；
- 3) 本系统仪表必须能对不利于系统（或设备）运行的反常现象或不良状态加以指示或报警；
- 4) 确定仪表的测量范围时，必须考虑正常运行工况以及预期运行事件；
- 5) 本系统的测量仪表应能够提供压力、流量、温度、液位和放射性比活度等参数。

6.4.2 控制设计要求

- 1) 本系统应设有专门的控制机柜，控制机柜上除设有工艺测量仪表的显示外，还应包括开关、指示灯等部件；
- 2) 本系统的设备和阀门的操作可根据需要选择手动或自动控制方式，在放射性同位素提取柱和纯化柱的淋洗和转型操作中，为避免操作人员的误操作，应尽量采用程控方式自动进行。

6.5 布置设计要求

1) 设备布置：提取柱和纯化柱应布置在热室内，同时其布置应方便机械手对其进行有关的操作；系统内的能动设备均布置在热室内，并安装在一定的高度上，以避免水淹和流体侵蚀；

2) 管道布置：燃料溶液、淋洗液及解析液输送管道应设置一定的坡度以保证滞留在管道内的介质尽量少；

3) 仪表布置：系统内仪表的布置应便于操作和维修。

6.6 可操作性和维修性要求

布置在热室内的设备，如同位素提取柱和纯化柱，应能通过机械手方便地对其进行有关的操作；布置在热室内的管道，应不妨碍机械手的灵活操作。

系统内设备和管道的布置应满足可维修性要求。

系统布置应确保：

1) 设置足够的拆装和转运空间；

2) 人员易接近维修区，满足维修可达性要求。

6.7 安装要求

系统的设计必须在设计文件中对本系统的设备、管道、电气、仪表及控制设备的安装提出明确的要求。

6.8 试验和检查要求

6.8.1 安装竣工后试验

安装竣工后的试验应包括系统的各项操作试验、功能性试验和水压试验。

6.8.2 定期试验

本系统应尽可能在接近设计的条件下对其投入运行的所有步骤，包括程控阀门的切换，进行试验。

必须定期评价系统的可运行性和所有能动部件的功能，并定期检查系统内的非能动部件，允许在一定压力下进行系统的水压试验。

6.8.3 在役检查

本系统的设计应满足在役检查的要求，并按有关规定进行定期在役检查。

本设计准则由中国核动力研究设计院提出

本设计准则由中国核动力研究设计院组织编写

编写人：李海颖

校核人：苏荣福

MIPR 医用放射性核素生产线设计准则

1 主题内容与适用范围

本准则规定了 MIPR 医用同位素生产线的设计原则。

本准则适用于 MIPR 医用同位素生产线的设计。

2 引用文件

- GB18871-2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准
- EJ380-89 开放型放射性物质实验室辐射防护设计规范
- EJ/T1096-1999 密封箱室密封性分级及其检验方法
- 国家食品药品监督管理局 药品生产质量管理规范（GMP）
- IAEA1969 热室设计安全问题手册（译文）
- HAF201 研究堆设计安全规定

3 术语和定义

本章无内容。

4 总的原则

4.1 MIPR 医用同位素生产线设计的目标是满足 ^{99}Mo 和 ^{131}I 等产品生产的要求，同时要保障工作人员和附近居民的安全。确保工作人员和公众受照剂量不超过规定限值，并保持在合理可行尽量低的水平。

4.2 外照射的防护设计，主要靠屏蔽层，增加与放射源之间的距离，限制照射持续时间或综合这些措施来实现。

4.3 内照射的防护设计，主要采用合理的布局、密封、负压技术等。

4.4 放射性药物生产线设计必须遵循 GMP 要求。

5 设计要求

5.1 同位素生产线设施屏蔽计算基准

根据 GB18871 的规定，为限制随机效应，以放射性工作人员的年有效剂量当量为 20mSv 作为防护设施屏蔽厚度计算基准，经屏蔽后的剂量率应符合屏蔽设计准则。

5.2 同位素生产线设施屏蔽计算设计安全系数

考虑到 MIPR 及放射源的不确定性，屏蔽材料的不均匀性，相邻区域的辐射影响以及计算的不确定性等因素，屏蔽设计应考虑 2 倍安全系数。

5.3 MIPR 生产线

MIPR 生产线由两部分组成。一部分用于从燃料溶液中提取初级产品，包括燃料溶液输送系统和同位素提取大热室；另一部分用于获得合格产品，包括 ^{99}Mo 和 ^{131}I 等放射性产品的纯化、灭菌、分装等小热室及相关设备。两部分均配有通风、上下水、放射性废物收集转运、辐射监测等系统。

5.3.1 燃料溶液输送系统

MIPR 停堆后，强放料液经料液输送管道，由堆芯压至同位素提取大热室，通过 ^{99}Mo 、 ^{131}I 提取柱后流入燃料溶液暂存罐，获得 ^{99}Mo 、 ^{131}I 初级产品。燃料溶液输送系统的主要技术要求如下：

- a) 布局合理、性能可靠、经久耐用、操作灵活、拆卸方便，能尽量减少工作人员和检修人员所受剂量；
- b) 燃料溶液输送系统管道、阀门和提取柱等设备的设计必须满足几何安全原则，确保临界安全；
- c) 阀门耐辐照、密封性好，不能跑冒泄漏，确保燃料溶液第一道屏障的完整性；
- d) 燃料溶液输送管道、解吸液收集罐等设备，要求能将物料排空，便于清洗、去污以避免交叉污染；
- e) 对有取样要求的放射性设备均应设计取样管头并适合用机械手操作取样。

5.3.2 同位素提取大热室

同位素提取大热室是从燃料溶液中提取 ^{99}Mo 、 ^{131}I 等同位素初级产品的重要屏蔽设施，因此在设计上必须满足生产工艺、系统密封性、辐射防护安全及 GMP 等要求。

- a) 同位素提取大热室是燃料溶液和放射性气体的第二层密封包容；
- b) 大热室尺寸应满足同位素提取工艺布局的需要；
- c) 要求大热室在同位素提取的正常工况和事故工况下不造成对工作人员和环境公众的过量照射，以此为依据，对照相关规定，确定大热室的密封要求并保证大热室负压大于 300Pa，确保放射性物质不外泄；
- d) 根据 EJ380 的规定，以热室前区剂量当量率 0.0075 mSv/h 作为大热室屏蔽层厚度计算基准，经屏蔽后放射性工作人员年有效剂量当量符合设计限值；
- e) 大热室内空气洁净度为万级。

5.3.3 同位素初级产品生产工艺设备

同位素初级产品生产工艺设备主要是指同位素提取大热室内安装的提取柱、纯化柱、提取柱解吸液接收罐。

要求工艺设备布局合理、机械手操作灵活、拆卸方便、易于维修和去污。

5.3.3.1 提取柱和纯化柱

- a) 柱材料机械强度高、耐辐照、耐酸碱；
- b) 柱过滤筛板的孔隙及筛板与柱的连接满足工艺要求，耐辐照，耐酸碱，有良好的机械强度；

- c) 柱子上下接头密封性好，能防止放射性液体泄漏；
- d) 柱子上下连接处无死角，不会造成液体积存。

5.3.3.2 解吸液接收罐

接收罐能耐 2Kg/cm^2 压力、有进酸接口、搅拌装置、液位指示及 pH 指示。

5.3.4 工艺流程“程控”软件

为实现停堆后燃料溶液通过“程控”自动化地实现 ^{99}Mo 、 ^{131}I 在同位素提取柱上的吸附、解吸等工艺流程，对程控提出以下技术要求：

- a) 安全可靠、流速可调；
- b) 适用性广，并可增减工艺步骤；
- c) 可单步操作，也可“程控”连续运行，“程控”失灵时可转为“手动”。

5.3.5 同位素成品生产设施

MIPR 生产线还包括将在大热室中提取的 ^{99}Mo 、 ^{131}I 等初级产品进一步纯化、分装、灭菌、包装等形成成品的生产设施，这些设施按 EJ380 和 GMP 的相关要求设计。

本设计准则由中国核动力研究设计院提出

本设计准则由中国核动力研究设计院组织编写

编写人：张劲松 柴德安

校核人：程作用

医用同位素生产堆（MIPR） 气回路系统设计准则

1 主题内容与适用范围

本准则规定了 MIPR 气回路系统设计基本要求。

本准则适用于 MIPR 气回路系统的设计。

2 引用文件

| | |
|-----------|---|
| HAF201 | 研究堆设计安全规定 |
| HAD102/08 | 核电厂反应堆冷却剂系统及其有关系统 |
| HAF.J0002 | 含有有限量放射性物质核设施的抗震设计 |
| ASME | 锅炉及压力容器规范，第III卷，ND分卷（三级设备） MIPR 构筑物、系统和部件安全等级的划分准则 |

3 术语及定义

3.1 气回路系统

气回路系统提供堆芯料液裂解氢浓度监测，同时提供消除裂解氢所需的手段。由气体循环系统及作为气体循环动力源的液体循环系统两个子系统组成。

3.2 气体循环系统

以氮、氧气为主要循环介质的系统，主要完成堆芯裂解氢气的输运及氢氧复合。主要由堆芯容器进出口气体接管嘴、除碘器、电加热器、氢氧复合器、补酸箱、气水分离器、主管道等组成的封闭回路。

3.3 液体循环系统

以稀硝酸为循环介质的系统，给气体循环系统提供动力源。主要由补酸箱、循环泵、喷淋器、管道等组成的闭合回路。该系统兼有向堆内补酸功能。

3.4 排气系统

在 MIPR 运行期间，排出堆芯产生的裂解气体，维持气回路系统的运行压力低于环境压力。主要由隔膜泵、收集容器、管道等组成。

4 系统范围

气回路系统范围如下：

- 1) 堆芯容器上部气空间及其顶盖部件；
- 2) 氢氧复合器、补酸箱及管道一起构成气体循环系统；
- 3) 补酸箱、循环泵、喷淋器及管道一起构成液体循环系统；
- 4) 隔膜泵、收集容器、管道等组成的排气系统；

- 5) 与气体循环系统相连并属于该环路的辅助系统，以隔离阀为界；
- 6) 在气体循环系统的管道上用于监测氢浓度的旁通管、压力、温度测点。

5 系统功能

在各种工况下，载出堆芯料液裂解的氢气，监测氢浓度并进行有效的复合，使之保持在一个足够低的水平，防止氢氧混合气体燃烧、甚至发生爆炸的危险，这种危险有可能损害反应堆一次边界的密封性及完整性。

在正常运行工况下，气回路系统必须维持在低于环境压力下运行，以降低放射性气体向环境的释放和污染水平。

提供放射性物质的包容，作为防止放射性泄漏的第一道屏障。

6 安全分级和抗震分类

气回路系统的安全等级按照“医用同位素生产堆（MIPR）系统、部件和构筑物的安全功能和分级准则”的要求执行。

6.2 气回路系统属于一次边界，设备及构筑物属于抗震 I 类。

6.3 气回路系统的质量保证等级、制造规范等级均按照“医用同位素（MIPR）系统、部件和构筑物的安全功能和分级准则”的要求执行。

7 总的设计原则

7.1 对于《医用同位素生产堆(MIPR)运行及事故工况分类准则》规定的正常运行工况和预计运行事件工况，气回路系统必须提供足够的氢气复合条件，以确保氢浓度低于规定的限值，从而保证反应堆一次边界的密封性和完整性。

7.2 对于《医用同位素生产堆(MIPR)运行及事故工况分类准则》规定的事故工况，气回路系统必须提供足够的氢气复合条件，以确保限制氢爆发生。

7.3 在正常运行工况，气回路系统应维持以低于环境压力下运行，从而降低放射性物质向外释放。

8 设计准则

8.1 系统设计准则

8.1.1 气回路系统的设计参数和运行方式必须满足 MIPR 技术指标及总体性能要求。

8.1.2 MIPR 在正常运行和事故工况下，必须保证氢氧复合，使反应堆容器及气回路系统内氢浓度必须低于 4%(体积浓度)限值。

8.1.3 气回路系统的运行压力应低于环境压力。比如，气回路系统可以设置在密闭的堆小室内，给堆小室加压，使堆小室的气压大于气回路系统运行压力，以防止系统内放射性物质向外泄漏。

- 8.1.4 必须采用一定的防爆措施，电气设备的电机应为防爆电机。
- 8.1.5 气回路系统主管道最小截面尺寸的确定，必须充分兼顾管内气体流速及阻力、结构的腐蚀及振动、放射性水平、运行寿期、厂房尺度等限制条件。
- 8.1.6 在系统所在房间设置气体剂量监测点，对发生的放射性气体泄漏进行探测。
- 8.1.7 氢气浓度测量装置及与氢气浓度有关的保护系统设计，必须在氢氧复合器失效时，能及时停堆，确保不会发生氢爆。
- 8.1.8 氢氧复合器宜设计成快速拆卸的结构，以便当氢氧复合器失效后，对氢氧复合器进行检修或更换。
- 8.1.9 堆芯容器内料液的酸度通过与之相连的补酸箱内稀硝酸的补充来保证。
- 8.1.10 氢氧复合器与喷淋器之间的管道应设置保温层，限制其散热。
- 8.1.11 气回路应具有一定的自然循环能力，以消除停堆后产生的残余氢气。
- 8.1.12 设置气相同位素提取系统时，应不影响气回路主系统的安全运行。
- 8.1.13 应设置氮气吹扫置换接口以及氮气排放收集接口。
- ## 8.2 机械设计准则
- 8.2.1 对能被隔离的气回路系统的每个部分都须确保有超压保护。
- 8.2.2 必须按其使用条件（如承受的应力、应变、温度、腐蚀及中子辐照损伤等）及制造工艺要求合理地选用材料，并注意材料相互之间以及材料与介质之间的相容性，使用的材料（包括结构材料、焊接材料）必须符合相应规范、标准或有关技术条件的要求。此外，应规定建造方法，以确保材料在规定的期间内保持高质量，还必须满足有关的要求。
- 8.2.3 设计压力不低于运行压力的 18 倍。在气回路的适当部位设置超压爆破膜。
- 8.2.4 在设计基准工况下，气回路系统必须设计成能承受压力、温度和放射性活度等限制条件。
- 8.2.5 气回路系统的设计，必须保证在设计基准工况和规定的载荷组合下，使应力在规范规定的限值内。
- 8.2.6 气回路系统的应力分析应符合 ASME III ND 分册相应规定，各类应力限值及变形处于 ASME III ND 分册规定的限值内。
- 8.2.7 气回路系统包容边界范围内的部件，设计必须保证在所有正常运行和事故工况下，尽量减少发生故障的可能性以及该故障对堆芯容器及其它部件所造成的损伤。
- ## 8.3 结构设计准则
- 8.3.1 支承或限制气回路系统部件的结构必须按气回路系统设计所使用的载荷组合来进行设计。
- ### 8.3.2 载荷条件
- 应考虑下列的载荷，但不只限于这些载荷。
- 管路系统的自重；

地震载荷；
支承或约束的反作用力；
温度效应、温度梯度和热胀差所引起的载荷；
气回路气体流动和冲击所产生的载荷；
振动载荷。

8.3.3 载荷组合

在进行应力及变形评定时，必须对每种工况的载荷与使用环境条件对管路系统施加的一种或几种以上的载荷可能出现的组合作用进行考虑，评定的结果应符合有关规定限值。

8.3.4 结构设计必须保证在制造和现场安装期间进行检验和试验，不可能进行定期检查和试验或检查和试验受到限制的气回路系统的部份应很少，这些部份的缺陷应不导致不可控制的后果。

医用同位素生产堆（MIPR）放射性核素生产线设计准则参数和系统工况保持在规定的范围之内。

8.5.2 控制室中必须对气回路系统密封包容边界的流量、温度、压力、氢气浓度等参数给予显示或报警，作为保护系统输入的参数应既显示又报警。

8.6 辐射防护要求

排气系统所接收的气体放射性较高，不能直接向环境释放，必须用专门的设备收集或进入废气处理系统进一步处理后，达标排放。

8.7 布置和安装要求

8.7.1 气回路系统的布置应尽可能紧凑，而且还要为设备的安装、检查及维修留有适当的空间。

8.7.2 气回路系统的安装必须按技术说明书和安装规程进行。

8.7.3 氢氧复合器以及它们的连接部件宜设置在不燃烧体的实体构筑物内，并留有检修或更换的余地。

8.7.4 管道的连接应采用焊接结构。但与设备、阀门的连接可采用焊接或法兰连接。

8.7.5 氢浓度监测和分析的设备均可接近。

9 验和检查

9.1 气回路系统的设计应规定对该系统进行运行前试验和首次启动的要求以及必要的试验、检查、维修和记录，以确保符合与核安全有关的设计基准。

9.2 气回路系统的设计和布置应为气回路边界部件提供足够可达性空间，尽量提供在役期间进行检查的可达性，管道系统的设计在管道周围留出空间，使所有接受检验的焊缝可以接近。要求外观或表面检验的管道系统的设计使接受检验的焊缝可能接近并有足够的可见性。

9.3 气回路系统的设计必须按照规范要求初始压力和气密性等试验和定期试验。

本设计准则由中国核动力研究设计院提出

本设计准则由中国核动力研究设计院组织编写

编写人： 钟发杰 吴英华

校核人： 杨 洪

医用同位素生产堆（MIPR） 堆顶小室及堆厂房功能设计准则

1 主题内容和适用范围

本准则规定了医用同位素生产堆（MIPR）堆顶小室及堆厂房功能设计的基本要求。
本准则适用于 MIPR 堆顶小室及堆厂房功能设计。

2 引用文件

| | |
|--------------|--------------------|
| HAF201 | 研究堆设计安全规定 |
| HAF202 | 研究堆运行安全规定 |
| HAFJ0002 | 含有有限量放射性物质核设施的抗震设计 |
| GB18871-2002 | 电离辐射防护与辐射源安全基本标准 |
| HAFJ0005 | 研究堆厂址选择 |

3 术语及定义

3.1 堆厂房隔离系统

该系统不是一个独立的系统，而是包含在贯穿堆厂房的每一管道系统内的专用设施，如隔离阀门等。

4 设计原则

4.1 纵深防御

MIPR 堆顶小室及堆厂房设计，应满足工艺及设备布置的要求，为系统设备及人员提供必要的屏蔽，包容放射性物质并将正常运行及事故工况下放射性物质向环境的释放限制在合理可行尽量低的水平。为此，医用同位素生产堆采用纵深防御概念设置了防止放射性物质释放的三道安全屏障。

4.2 总的原则

4.2.1 堆顶小室和堆厂房是密封屏障，其主要的功能是保证 MIPR 在正常运行和事故工况下能包容放射性物质，保障工作人员和公众免受过量的辐射。

4.2.2 将与堆相连的、强放射性系统设备集中布置在堆顶小室内，堆顶小室应具有足够的空间，满足系统的可运行性、可维修性。

4.2.3 堆厂房在正常运行工况下应能通风换气，事故工况下应能密封隔离抽负压或小风量排气。

4.2.4 堆顶小室内部还应采取局部屏蔽措施，以满足可达性要求。

4.2.5 堆顶小室的功能还应满足堆容器整体更换的要求。

4.2.6 堆厂房在正常运行工况下应能通风换气，事故工况下应能密封隔离抽负压或小风量排气。

5 功能要求

堆顶小室与堆厂房在具体功能方面有所不同，堆顶小室作为第二道放射性包容屏障，具有一定的承压功能，满足堆容器整体更换的要求。堆厂房作为第三道放射性包容屏障，具有抵御外部事件的功能。堆顶小室和堆厂房应在设计基准工况下保持结构的完整性。

6 安全等级及抗震类别

6.1 堆顶小室与堆厂房的安全分级及抗震分类等遵照《医用同位素生产堆（MIPR）系统、部件和构筑物的安全功能和分级准则》的有关规定。

6.2 堆顶小室的安全级别为安全级，抗震类别为抗震 I 类，质保等级为 QA1 级。

6.3 堆厂房的安全级别为 NNS 级，抗震类别为抗震 I 类，质保等级为 QA2 级。

7 设计要求

7.1 堆顶小室设计要求

7.1.1 应根据设计基准事故后堆顶小室压力随时间变化的计算结果保守地确定堆顶小室的设计压力。

7.1.2 堆顶小室的建筑及结构形式应有助于堆顶小室密封等功能的实现。

7.1.3 堆顶小室混凝土设计厚度应满足关于作为生物屏蔽的功能要求及能够承受事故工况下压力的功能要求。

7.1.4 应根据堆顶小室承受的载荷及各种载荷的组合以及厂址所在地区的地震条件进行堆顶小室的结构设计，其所承受的载荷、载荷组合和验收准则应满足 HAF.J0002 B 级核设施的抗震设计要求。

7.1.5 堆顶小室应具有足够的空间满足其内设备安装、维修、更换及退役要求，并应有所需吨位的吊车及吊运通道。

7.1.6 堆顶小室应合理采用局部屏蔽、阴影屏蔽，并有通风换气设施，允许维修人员在有限停运期内进入检修，必要时应用新鲜气体置换气回路的放射性气体。

7.1.7 设计中应考虑堆顶小室的密封性试验措施。

7.1.8 堆顶小室的设计寿命为 60 年。

7.2 堆厂房设计准则

7.2.1 堆厂房为非承压密封厂房，其泄漏率要求在事故工况期间及以后限制放射性物质向环境的释放满足国家规定的限值。

7.2.2 应根据厂址所在地区的地震条件进行堆厂房的结构设计，其所承受的载荷、载荷组合和验收准则应满足 HAF.J0002 B 级核设施的抗震设计要求。

7.2.3 堆厂房在正常运行工况下，可以通风换气。在第一、二道屏障同时发生密封泄漏时，可以实施密封隔离并能维持负压或小风量抽风。

7.2.4 堆厂房应满足主要设备安装、维修、更换及退役等工艺要求，并应有所需吨位的吊车。

7.2.5 堆厂房应从厂址选择、结构设计以及厂内应急操作规程等方面采取措施应付外部自然及人为事件(如洪水、龙卷风和飞射物等)。

7.2.6 设计中应考虑堆厂房的密封性试验措施。

7.2.7 堆厂房的设计寿命为 60 年。

7.3 堆厂房隔离系统

7.3.1 堆厂房隔离系统用于在假想事故后，在堆厂房边界保持完整性的前提下，防止或限制堆厂房内放射性物质向周围环境释放。在发生设计基准事故时，能动的隔离系统必须能自动并可靠地隔离，以防止放射性物质的释放超过可接受限值。

7.3.2 电气（包括传感器、变送器、仪表信号、控制、供电）、机械贯穿件的设计与安装应满足电气、机械贯穿件的设计要求，应确保假想事故后，通过贯穿件泄漏的放射性物质不会导致厂区边界剂量超过相应的限值。

7.3.3 事故后执行安全功能的隔离阀应为安全级，应按安全级阀门的要求进行设计和采购。

7.4 试验准则

堆顶小室和堆厂房及其隔离设施应在反应堆投运前进行整体及局部密封性试验。在投运后还应进行定期密封性试验。密封性试验结果应满足正常运行及事故工况下的放射性释放要求。

本设计准则由中国核动力研究设计院提出

本设计准则由中国核动力研究设计院组织编写

编写人：秦 忠

校核人：吴英华

医用同位素生产堆（MIPR）辐射监测系统设计准则

1 主题内容与适用范围

本准则规定了 MIPR 辐射监测系统设计的原则与要求。执行本准则可确保堆的安全运行以及厂内人员和公众受到的辐射符合“合理可行尽量低”的原则。

本准则仅适用于 MIPR 辐射监测系统的设计。

2 引用文件

| | |
|-----------------|-----------------------------------|
| HAF 201 | 研究堆设计安全规定 |
| HAF 2000-2 | 研究堆运行安全规定 |
| HAD 103/04 | 核电厂运行期间的辐射防护 |
| HAD 102/12 | 核电厂辐射防护设计 |
| GB 18871-2002 | 电离辐射防护与辐射源安全基本标准 |
| GB/T 15474-1995 | 核电厂仪表和控制系统及其供电设备安全分级 |
| | 医用同位素生产堆（MIPR）系统、部件和构筑物的安全功能和分级准则 |

3 设计原则

3.1 应根据 MIPR 总体辐射防护目标，在所有运行状态和事故工况以及同位素生产情况下，为辐射和气载放射性物质监测制定足够的措施；

3.2 必须制定辐射监测防护大纲，辐射监测是辐射监测防护大纲必不可少的一部分，任何辐射监测都应根据辐射监测防护大纲进行。该大纲明确规定了监测目标，并确定测量方法和测量设备、测量位置和频率、以及记录和解释结果的方法；

3.3 辐射监测应能够评价辐射水平是否符合所制定的限值并提供有关辐射水平变化的信息，这些信息可以显示采取干预措施的必要性；

3.4 辐射监测所采用的仪器，应根据其辐射分类符合国家相关标准的要求；

3.5 辐射监测所采用的在线仪器，至少应具备一种标准的数据通讯能力，所采用的通讯标准应易于实现，且可靠性较高；

3.6 应为全厂配置一个辐射监控和管理系统，以完成辐射量信号的实时处理和综合显示，对放射性有关事故进行分析判断，并对全部的剂量数据进行管理。

4 辐射监测要求

4.1 人员监测

用于人员监测的设备，应包括评价、测量和记录从外部源和内部源所接受的剂量的必要手段，应为在控制区内工作的所有厂区人员提供足够的设备和服务。

个人监测要考虑到外照射剂量计的选择、内部剂量负担的评价方法和用于个人外

部污染监测的仪表等。

4.2 厂内的区域监测

区域监测包括外照射监测、气载放射性及表面污染监测、个人外部污染监测的测量。在辐射防护设计规定的控制区域内应安装就地报警器和读数明确的固定式连续运行仪表，以便给出所选区域内的辐射剂量率信息。在独立剂量室内，应设置能给出所选区域内剂量率信息的仪表，量程下限应从比该区域相应的报警水平至少低一个数量级，上限应扩展到该区域预计的最高水平，并留有足够的裕量。应针对 MIPR 燃料溶液转运系统，在料液可能活动范围内，如堆顶小室、同位素生产线，分析评估所释放的中子的辐射水平和影响，在可能造成重大危害的地方应设置中子探测器加以监测。

为了对短时间的特殊维修操作进行监测（操作监测）和对可能出现潜在高剂量率的区域进行监测，应配备带有机内报警器的可携式或机动式剂量率计，当剂量率超整定值时能自动报警。所有这些仪表都应符合国家相关标准的要求。

4.2.1 外照射监测器

在选择外照射监测器时，至少应考虑下列特性：

- a) 剂量率量程；
- b) 灵敏度；
- c) 需要监测的放射性核素（种类、能谱等）；
- d) 带有可变整定点的阈值报警装置；
- e) 根据设计要求配备适当的可靠电源；
- f) 环境条件；
- g) 检验和标定装置；
- h) 方向响应；
- i) 能量响应；
- j) 易于去污、能校准阈值。

4.2.2 气载放射性物质和表面污染监测

应在辐射防护设计选定的位置设置检测空气中放射性物质污染的永久性的监测器。应针对设计的三道安全屏障以及气载放射性物质富集的区域重点加以监测，如堆顶小室、同位素生产线和放射性废物处理厂房等。

所有这些监测都应考虑气载放射性物质存在的物理状态（例如，是气体还是粒子）以及某些核素（例如碘化合物）的性质。

在可能存在气载放射性物质的场所，在厂区人员不戴呼吸防护设备而停留在该位置的时间期间内，固定式的或移动式监测器（取决于事件的频度和持续时间）应能连续指示这段时间内的放射性。

在进入需要执行工作或检查的区域之前，应进行气载放射性和表面污染监测；在工作期间和任务完成后，仍须进行这种监测。

4.2.3 个人外部污染监测

在控制区出口处，应设置检查个人外部污染的仪表。如果在控制区内有一个存在污染危险的小区，则在它的出口处应能换鞋和换工作服，以防止污染的交叉和扩散；如果工作人员在返回控制区的主要部分之前总是把鞋子和工作服放在适当的容器内，则可以不要在该小区的出口处对工作人员进行体表污染监测。

4.3 工艺系统监测

对工艺系统（如燃料溶液转移系统、气体复合系统）内的放射性活度应采用工艺监测仪进行连续测量，特别是堆顶小室放射性气体活度的测量非常重要。并向操作员给出指示值，当放射性显著增加并且超过报警限值时，应能发出报警并采取相应隔离措施。应定期对工艺流进行取样，送物理测量室分析，以确定放射性物质的核素种类和各自的数量。工艺辐射监测系统与工艺系统之间的接口应设置隔离阀或能拆卸的连接管，以便维修和清洗。应有手段引入清洁空气或无离子水对工艺辐射监测仪的探测器进行清洗。

在可能有较高放射污染的水及气体系统中，应提供能监测放射性水平的适当手段。此外，对正常运行时含有较低放射性物质的系统，应设置流体取样系统，以便在厂内或厂外的放化实验室作更详细的分析。

4.4 流出物监测

应配备监测和记录向环境排放的所有放射性液体和气体流出物的设备，并在达到限值时应能发出报警并采取相应隔离措施。对流出物占 MIPR 总排放量很大份额的系统，如废水排出、烟囱等应进行在线监测，其它的监测可以进行取样分析。流出物监测应能确定排放物的总放射性强度和核素成分。

4.5 事故工况下的辐射监测要求

MIPR 应设置事故工况期间及以后所需的辐射监测设备，以便运行人员能够评价事故工况期间 MIPR 的辐射情况和采取必要的行动。所采用的仪表应有足够的量程和灵敏度，并满足安全分级的相关要求。

应根据辐射防护大纲制定事故应急计划，配备必需的监测设备和适当的辅助设施，对厂区内进行监测，为执行应急活动提供依据，为事故后环境评价提供数据。

4.6 主控室辐射监测信号

下列辐射监测信号应送往主控室进行监测：

厂区内进行事故和事故后的辐射监测信号；

放射性废液排出总口辐射监测信号；

烟囱出口放射性气体监测信号；

反应堆放射性包容一次边界监测信号；

每一条同位素生产线放射性气体监测信号；

料液转运监测信号。

5 辐射监测仪表的安全分级要求

根据《医用同位素生产堆（MIPR）系统、部件和构筑物的安全功能和分级准则》对仪表的安全级别、抗震和质保的要求，以及《核电厂仪表和控制系统及其供电设备安全分级》对于监测仪表对质量鉴定程序的要求，辐射监测仪表的分级要求如下：

进行事故和事故后固定式监测的仪表的安全等级为 1E 级，抗震类别为 1 类，质保等级为 QA1，质量鉴定程序为 C 类。

烟囱出口放射性气体监测仪表、堆室强 γ 辐射监测仪表、反应堆一回路边界放射性气体监测仪表以及每一条同位素生产线放射性气体监测仪表均应为 1E 级。

除事故和事故后的 1E 级外的仪表（进行正常监测仪表和控制设备）安全等级为 NNS 级，抗震要求除固定式监测的仪表的抗震类别为 1 类外，其余均无抗震要求，抗震类别为 NA 类，质保等级为 QA3。

本设计准则由中国核动力研究设计院提出

本设计准则由中国核动力研究设计院组织编写

编写人：曾少立 裴天德

校核人：沈 峰 李 健

医用同位素生产堆（MIPR） 通风与空气净化系统设计准则

1 主题内容与适用范围

本准则规定了 MIPR 通风与空气净化系统设计的要求。

本准则适用于 MIPR 通风与空气净化系统的设计。

2 引用文件

HAF201 研究堆设计安全规定

GB18871-2002 电离辐射防护与辐射源安全基本标准

GB/T17939-1999 核级高效空气过滤器

药品生产质量管理规范（GMP）（1999 年 6 月 18 日国家食品药品监督管理局令第 9 号发布）

EJ/T514-1990 研究性反应堆建筑物采暖、通风与空气净化系统设计规范

MIPRE-400000-C₃-A MIPR 系统、部件和构筑物的安全功能和分级

3 术语和定义

本章无内容。

4 总的原则

MIPR 通风与空气净化系统的设计应遵循以下原则：

- a. 根据反应堆及其应用的安全分析结果规定通风系统的设计；
- b. 符合 GB18871 的相关要求，保证工作人员及公众接受的辐射剂量不超过为他们规定的相应剂量限值；保证对环境的影响不超过国家相关法规的规定；
- c. 为工作人员和设备提供适宜的环境；
- d. 系统设计应本着向环境排放“合理可行尽量低”的原则。

5 系统设计

5.1 系统功能

MIPR 通风与空气净化系统具有下列功能：

- 1) 在反应堆正常运行工况下，从放射性场所向外排放放射性气溶胶（包括放射性气体和放射性颗粒）。需要时需通过高效过滤器和活性炭吸附等净化手段处理放射性颗粒和放射性气体，以减少放射性物质向环境的排放。
- 2) 净化处理后的空气通过烟囱高架排放。
- 3) 在正常运行情况下，所有非放射性房间内的空气不经过滤直接向环境排放。
- 4) 为药品生产场所提供满足药品生产所要求的空气环境。
- 5) 事故工况为反应堆厂房提供负压空气压缩贮存或小风量排气，但仍符合环境排放的国家标准。

5.2 安全等级和抗震类别

MIPR 通风与空气净化系统的安全等级和抗震类别按医用同位素生产堆（MIPR）系统、部件和构筑物的安全功能和分级准则执行。

5.3 系统设计要求

5.3.1 系统的设置

MIPR 通风与空气净化系统的设置应遵循下列原则：

a) 非放区域与放射性区域分别设置独立的通风与空气净化系统；

b) 根据空气中放射性核素的危险等级及浓度对厂房或建筑物进行分区，在分区的基础上，设计放射性区域通风与空气净化系统，密封包容 MIPR 燃料一次边界的区域、放射性核素与药品生产线及其他放射性区域分别设置独立的通风与空气净化系统。

5.3.2 系统设计

1) 非放区域设置普通空调系统，按常规民用设施通风空调系统要求设计。

2) 放射性区域通风与空气净化系统

放射性区域通风与空气净化系统参照 EJ/T514 的规定设计。

其主要要求为：

表 1 放射性区域主要工艺间换气次数

| 房间名称 | 换气次数/h ⁻¹ | 备注 |
|---------|----------------------|---------|
| 反应堆大厅 | 1.5 | |
| 反应堆堆顶小室 | 20 | 堆运行时不换气 |
| 放射性剂量间 | 10 | |
| 其他 | 5 | |

a) 为了正确地组织气流，应合理地安排不同分区相邻房间之间压差关系；

b) 设置必要的空气净化措施（包括高效过滤器及除碘过滤器），使释放到环境的放射性物质达到合理可行尽量低的水平；

c) 应考虑检修人员的可接近性、在剂量较高场所实现设备快速拆装的可能性；

d) 应考虑排风净化系统的风机、能动部件及净化设备的必要的冗余度；

e) 应实行行政性的控制或闭锁，以确保反应堆工况要求除碘时，净化系统手动阀和调节风门都处于除碘状态上；

f) 空气净化系统的设计应为管道和小室的检漏和效率试验提供可能；

g) 进风口应在常年主导风向的上风口，烟囱在下风口。排风烟囱与进风口的水平和垂直距离不小于 20m。排风烟囱的位置应尽量靠近排风机旁。进风口应装备快速关闭阀，以起到防冲击、防有毒有害气体、防地震的“三防”作用。

3) 放射性核素和药品生产线通风与空气净化系统的特定要求

放射性核素和药品生产线通风与空气净化系统的设计必须符合 GMP 要求，除应满足 5.2.1、5.2.2 2) 的要求外，还应满足以下特殊要求。

(1) 空气洁净度等级划分

放射性核素和药品生产区的空气洁净度等级划分见表 2。

表 2 放射性核素和药品生产区的空气洁净度等级划分

| 空气洁净等级 | 区域/功能间 |
|--------------------------------|--|
| 100 级或 10 000 级 背景下局部 100 级 | 注射剂的滤过、分装、灌封、压塞操作区； 直接接触无菌药品的包装材料最终处理后的暴露环境。 |
| 10 000 级 | 注射液等注射剂的轧盖操作区； 直接接触无菌药品的包装材料的最终处理区； 10 000 级区使用的洁净工作服和洁具的清洗、灭菌及保存间； 洁净外衣和防护用品穿戴间。 |
| 100 000 级 | ⁹⁹ Mo、 ¹³¹ I 等核素提取热室内、热室前后区； 非最终灭菌口服液体药品的暴露工序操作区域； 直接接触药品的包装材料最后一次精洗操作区域； 100 000 级区使用洁净工作服和洁具的清洗、灭菌及保存间。 |

(2) 气流组织

放射性产品生产的热室相对前后区保持负压，内部空气采用层流罩净化，其排风采用小排量风机，排风经过滤、监测，达排放标准从烟囱排放。

热室与其相连区域的气流方向为：

热室后区→热室内←热室前区→缓冲间→100 000 级区



排风系统→烟囱

(3) 洁净室内新鲜空气量

除生产热室外的洁净室的回风可以循环使用，洁净室内应保持一定的新鲜空气量，其数值应取下列风量中的最大值：

- a. 非单向流洁净室总送风量的 10%~30%，单向流洁净室总送风量的 2%~4%；
- b. 补偿室内排风和保持室内正压值所需的新鲜空气量；
- c. 保证室内每人每小时的新鲜空气量不小于 40m³。

(4) 洁净室压力

洁净室压力应符合下列要求：

- a. 燃料溶液输送与放射性核素提取热室内相对于其前后区保持 300Pa 负压；

b. 无菌产品在正压区域生产，原则上，任何放射性操作应在专门设计的保持负压的区域进行，因此，无菌放射性产品的生产应在正压区域中的负压下进行；

c. 非放射性洁净区必须维持一定的正压，不同空气洁净度的洁净区之间的静压差应不小于 5Pa，洁净区与非洁净区之间的静压差应不小于 10Pa。

(5) 洁净室温度和湿度

洁净室内的温度和湿度应符合下列规定：

a. 空气洁净度 100 级、10 000 级区域一般控制温度为 20℃~24℃，相对湿度为 45%~60%；

b. 100 000 级及以上区域一般控制温度为 18℃~28℃，相对湿度为 50%~65%。

4) 主控室送风系统

主控室的送风系统除了要求进风口具有“三防”功能之外，还要求系统本身在没有外部进风的情况下具有自循环功能。在事故工况下，依靠送风系统的净化单元对主控室的循环空气进行净化处理，为主控室内的工作人员提供必需的洁净空气。

5.3.3 仪表和控制装置

仪表和控制装置系指所有的敏感元件、操作设备与阀门的手动开关、设备与阀门运行状态指示灯、工艺测试仪表以及保证安全和可靠运行的所有自控设备。

1) 仪表应能显示或记录、监测或控制工艺系统及设备所需的各参数。仪表及控制装置应该集中布置，以便于对系统进行管理和观察。

2) 在所有经常操作的阀门和设备上，应安装带有状态指示灯的自控—手控开关。

3) 对仪表和控制装置的最低要求包括在系统启动、运行和停车期间提供控制方法和下列数据：

a) 放射性浓度数据（以确定放射性泄漏、活性炭吸附器性能以及向大气的排放率，并在必要时能自动截止排放。用于自动截止排放的阀门，应设计成在停电时仍能自动关闭）；

b) 排放气体的辐射监测装置应设计成能连续监测和记录通过正常排放途径排向大气的全部气体的放射性；

c) 各系统风量、每级过滤器和除碘过滤器的阻力等；

d) 在高于预定值排放时，排放辐射监测仪应能自动截止气体的排放。

e) 洁净区内应有空气温度、湿度、尘埃粒子数的自动监测和记录仪表。

f) 净化系统风机的出、入口电动密封闭阀应与风机连锁。

g) 风机入口设风量调节阀。

h) 风机的出口设置逆止阀。

i) 排风机应与送风机连锁，只有当排风机运行时，送风机才能运行。

j) 风管在穿过每一道防火隔离墙时，应设置防火阀。在净化小室中除碘过滤器前设置火灾报警器。

5.4 机械设计

净化小室、安装排架、风道、风阀、过滤器、除碘过滤器、风机等的设计应满足下列（但不限于）要求：

1) 净化小室

钢机构净化小室应具有较好的密封性、检修人员的可接近性及运行参数的可检测性。过滤器和除碘过滤器的排架与小室壁板结合处应无泄漏。

2) 安装排架

过滤器和除碘过滤器的安装排架应为金属全焊接结构，其上下不得有漏孔，并具备足够的强度和刚度，满足抗震设计要求。

3) 风道

应尽可能采用受力好、速度场均匀的圆型风道，并具有良好的密闭性能。执行安全功能的事故通风系统风道应满足抗震设计要求

4) 风阀

风阀的泄漏量应符合相关规定。执行安全功能通风系统风道应满足相应质量鉴定要求。

5) 过滤器

预过滤器和高效过滤器的壳体应具有较大的边角强度。高效过滤器的透过率不超过 0.01%（钠焰法）。

6) 除碘过滤器

除碘过滤器采用氟利检漏，泄漏率不超过 1%。

7) 风机

风机的性能选择应考虑过滤器阻力的变化且易检修，尽可能选用叶轮后倾的离心风机。执行安全功能的通风系统风机应满足相应质量鉴定要求。

8) 排风烟囱

排风烟囱的出口直径应根据总排风量和出口风速确定。

5.5 电气设计

电气设计应满足下列要求：

- 1) 安全级通风与空气净化系统应有普通电源和应急电源两套供电系统；
- 2) 其他通风与空气净化系统均为普通电源；
- 3) 送排风机房应设事故照明系统。

5.6 试验和检查

1) 风机、阀门、高效过滤器、碘吸附器和其他通风与空气净化系统部件在出厂前应做严格的（如核级设备应有技术规格书）出厂检验。

2) 系统初次安装竣工后或在任何重大改进、维修后，应进行下列检查或试验：

- a. 外观检查；

- b. 风管和净化小室的检漏试验；
- c. 净化小室的风量和速度均匀性试验；
- d. 现场试验的试验尘在净化小室中浓度场均匀性试验；
- e. 小室内高效过滤器的现场效率和检漏试验；
- f. 小室内碘吸附器的现场效率和检漏试验。

3) 通风与空气净化系统必须设计成允许对重要部件、过滤器结构、风道和管道进行适当的定期检查（试验）以保证系统的完整性和能力。

5.7 安装

1) 在现场安装阶段及安装后现场尚未清洗时，过滤器、碘吸附器等净化设备不应安装到位。应在安装高效过滤器前，先让系统运行，待气流把浮尘吹走后，再安装高效过滤器和碘吸附器。

2) 在安装高效过滤器时应避免任何尖角、杂物刺破过滤器端面。过滤器的波纹板应沿垂直方向排列，以避免运行中过滤器的滤芯出现塌陷而损坏。

本设计准则由中国核动力研究设计院提出。

本设计准则由中国核动力研究设计院组织编写。

编写人：程作用

校对入：牛文华

医用同位素生产堆（MIPR）燃料贮存设计准则

1 主题内容和适用范围

本准则规定了医用同位素生产堆（MIPR）用 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料贮存的设计原则和相关要求。

本准则适用于 MIPR $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料贮存的设计。

2 引用文件

| | |
|--------------|------------------------------------|
| HAF201 | 研究堆设计安全规定 |
| HAFJ0002 | 含有有限放射性物质核设施的抗震设计 |
| GB15146.3-94 | 反应堆外易裂变材料的核临界安全 易裂变材料贮存的核临界安全要求 |
| HAF501 | 中华人民共和国核材料管制条例 |
| HAF501/01 | 中华人民共和国核材料管制条例实施细则 |
| EJ/T 1054 | 核材料实物保护导则 |
| GB18871-2002 | 电离辐射防护与辐射源安全基本标准 |
| HAD102/15 | 核电厂燃料装卸和贮存系统（参考） |
| GB11806-89 | 放射性物质安全运输规定 |
| HAD102/11 | 核电厂防火（参考） |

3 术语和定义

本章无内容。

4 总的设计原则

4.1 设计应满足 GB15146.3 的要求，防止燃料在贮存和运输过程中意外临界。

4.2 保持燃料质量满足技术指标要求。

4.3 满足 EJ/T 1054 的要求，保证防止核材料丢失。

4.4 必须考虑如重物跌落、地震、火灾、水淹等各种假想事故下燃料贮存容器的机械完整性，贮存相关设备的安全性，防止放射性物质不可接受的释放，从而使公众的辐射剂量满足 GB18871 的要求。

4.5 设备和部件的布置及运输必须保证 MIPR 工作人员所受的剂量当量符合 GB18871 的要求。

5 MIPR 燃料贮存设计要求

5.1 布置

5.1.1 燃料的贮存装置的排列和布置应充分考虑临界安全，使在事故工况下也能防止意外临界，同时保证系统的次临界度 K_{eff} 不超过 0.95。如采用核毒物的贮存设计，应能防止因机械或化学作用意外地除去毒物。

- 5.1.2 贮存容器应有足够和特定的贮存位置及移动空间。
 - 5.1.3 布置应防止非属提升装置部件的重物在贮存的燃料上面移动。
 - 5.1.4 贮存区及附近的部件和管道的布置应防止慢化材料（例如水）侵入。
 - 5.1.5 布置应允许进行燃料检查，并易于装卸和转移。
- 操作程序。
- 5.2.5 设计应提供为燃料装卸和贮存及设备去污的设施。
 - 5.2.6 燃料贮存区的防火设计应满足核安全导则 HAD102/11 的要求。
 - 5.2.7 燃料贮存区应具备通风系统、疏水系统和通讯设备。
 - 5.2.8 燃料贮存区设计应根据 EJ/T 1054-1997 确定实物保护等级并采取相应的技防措施。
 - 5.2.9 燃料贮存场所的抗震设计应满足 HAFJ0002 的要求。

5.3 硝酸铀酰溶液贮存容器设计准则

- 5.3.1 设计应考虑到它的裂变材料装载量、容积等参数，确保单体是次临界的。
- 5.3.2 设计应考虑到它的质量、体积和形状，使其能够容易装卸和转移及与添料系统的衔接。
- 5.3.3 容器的材料和结构利于表面去污，容器外层的设计，应做到避免集水和积水。
- 5.3.4 容器的任何提吊部件在按预定方式使用时不会脱落。
- 5.3.5 容器的材料与内容物在物理和化学上彼此相容。
- 5.3.6 容器的密封性应满足在正常和事故工况下，灰尘、其它气载颗粒、水不应进入容器内。
- 5.3.7 容器必须按规范、标准要求设计，必须具有足够的强度，使得在预期的假想事故情况下（包括地震）都能保持机械完整性，内容物不会泄漏和弥散。
- 5.3.8 容器应有证明其在贮存期间未被打开过的铅封之类的封口部件。
- 5.3.9 容器设计应易于燃料全部排出。
- 5.3.10 容器内液面上部应留出适当的空间，以防止应环境温度升高或其他原因导致容器不可接受的损坏。

5.4 硝酸铀酰晶体贮存容器设计准则

硝酸铀酰晶体贮存容器的设计除应满足 4.3.1 ~4.3.9 的要求外，还应满足以下要求

- 5.4.1 满足容器的密封性要求，不能因吸潮影响硝酸铀酰晶体的质量。
- 5.4.2 容器设计应便于对硝酸铀酰晶体进行计量和装卸。

5.5 燃料运输与厂内转运设计

- 5.5.1 燃料的运输与厂内转运设计应满足 GB11806《放射性物质安全运输规定》的要求。
- 5.5.2 燃料在运输过程中应采取措施预防临界事故。
- 5.5.3 交通工具、吊车和其中设备必须配备可靠的制动系统，以防止贮存容器跌落或以外倾覆；在垂直方向和水平方向移动时必须有限制速度，并尽可能限制容器的提升高

度。

5.6 检查和试验

5.6.1 贮存容器设计时应考虑必要的标识，以便燃料在运抵现场后和装堆前进行必要的检查。

5.6.2 在燃料贮存过程中及燃料运抵现场后和装堆前，必须对容器进行检查，以证明在贮存、装卸、运输过程中容器的完好性未受到损害。

5.6.3 运输容器应进行 GB11806 规定的相关试验，例如冲击、水浸、自由下落等。

本设计准则由中国核动力研究设计院提出

本设计准则由中国核动力研究设计院组织编写

编写人：杨 毅

校核人：朱金海

医用同位素生产堆（MIPR）燃料溶液配制设计准则

1 主题内容与适用范围

本准则规定了医用同位素生产堆（MIPR）用 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料溶液配制的设计原则和相关要求。

本准则适用于 MIPR 用 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料溶液配制的设计。

2 引用文件

| | |
|-----------|------------------------------------|
| GB10265 | 核级可烧结二氧化铀粉末技术条件 |
| GB/T626 | 化学试剂硝酸 |
| HAFJ0002 | 含有有限放射性物质核设施的抗震设计 |
| GB15146.3 | 反应堆外易裂变材料的核临界安全 易裂变材料贮存的核临界安全要求 |
| HAF501 | 中华人民共和国核材料管制条例 |
| HAF501/01 | 中华人民共和国核材料管制条例实施细则 |
| EJ/T 1054 | 核材料实物保护导则 |
| GB18871 | 电离辐射防护与辐射源安全基本标准 |
| HAD102/11 | 核电厂防火 |

3 术语和定义

本章无内容。

4 总的设计原则

MIPR 用 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料溶液配制系统设计范围包括：超纯水制备、硝酸纯化、铀化合物煅烧除氟、 U_3O_8 溶解和 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料溶液配制过程，总的设计原则包括：

(1)制备的超纯水电导率 $\geq 18\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ ，其它杂质含量与构成 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料溶液的其它物料杂质含量的加合应小于或等于 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料溶液的技术指标要求，见附件 1。

(2)纯化后的硝酸杂质含量应达到 GB/T626-1989 优级纯等级与满足构成 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料溶液配制的其它物料杂质含量的加合应小于或等于 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料溶液的技术指标要求。

(3)煅烧除氟得到的 U_3O_8 物料的杂质含量应满足 GB10265 的要求，其中氟和氯的含量应 $\leq 2\mu\text{g/g}$ 。

(4)采用硝酸溶解 U_3O_8 物料得到高铀浓度的 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料溶液应满足 GB10265 规定的杂质含量要求。

(5)配制的燃料溶液铀浓度、酸度、杂质含量应满足 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料溶液技术条件的总体要求。

(6) U_3O_8 溶解反应器和燃料溶液配制装置临界安全按 90%富集度进行设计，尤其应

考虑避免双偶然临界事故发生，装置的临界安全应满足 GB15146.3 的要求，防止易裂变材料意外临界。

(7)应对配制过程中可能出现的事故进行分析，并制定主要的事故处理规程和应急计划，应考虑的事故有：超临界事故和放射性物质释放事故，以防止放射性物质不可接受的释放，对公众的辐射剂量满足 GB18871 的要求。

(8)防止操作人员受到不可接受的辐射照射，对操作人员的辐射剂量满足 GB18871-2002 的要求，年个人剂量当量 $\leq 20\text{mSv/a}$ 。

5 设计要求

5.1 燃料溶液配制装置设计

5.1.1 超纯水制备装置设计应采用蒸馏法，达到热高效，生产能力和制备的超纯水电导率应 $\geq 18\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ ，其它杂质含量应满足 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料溶液技术条件要求。

5.1.2 硝酸纯化装置设计应采用蒸馏法，生产能力和制备的纯化硝酸应达到 GB/T626-1989 优级纯等级，其它杂质含量应满足 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料溶液技术条件要求。

5.1.3 铀化合物煅烧除氟装置设计应包括水蒸汽发生器、煅烧炉和尾气吸收等设备。水蒸汽发生器蒸汽产生量应满足除氟所需蒸汽量。煅烧炉的材料应满足在温度 900°C 下长时间使用无明显氧化并耐氨腐蚀；炉内物料布置合理，气路布置应使水蒸汽在炉内分布均匀，并满足除氟要求。

5.1.4 U_3O_8 溶解反应器的材料与内容物在物理和化学上彼此相容，与硝酸和 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料溶液所接触材料应满足腐蚀要求。

5.1.5 为了保证 U_3O_8 粉末加料和溶解的顺利进行， U_3O_8 溶解反应器应设计有相应的加料、搅拌与混合装置。

5.1.4 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料溶液配制容器的设计必须采用核临界安全的几何尺寸，使其在事故工况下防止意外临界事故，应考虑万一发生超临界事故后的处理手段和措施。

5.1.5 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料溶液配制容器的材料与内容物在物理和化学上彼此相容，与硝酸和 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料溶液所接触材料应满足腐蚀要求。

5.1.6 U_3O_8 溶解和 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料溶液配制容器的材料和结构必须利于表面去污，容器外层的设计，应做到避免集水和积水。

5.1.7 为了保证配制溶液的均匀性，配制容器应设计有相应的搅拌与混合装置。

5.1.8 在正常和事故工况下，灰尘、其它气载颗粒不应进入溶解器和配制容器内。

5.1.9 在事故工况下，溶解反应器和配制容器的内容物不会泄漏和弥散，应考虑放射性释放事故后的处理手段和措施。

5.2 燃料溶液配制系统设计

5.2.1 系统设计时，应考虑到 MIPR 用 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料溶液满足各项指标如料液铀浓度、酸度和杂质含量特别是氟含量的总体要求，确保硝酸和 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料溶液所接触到材料不因设备材料腐蚀而导致燃料溶液的杂质含量超标。

5.2.2 系统设计时，配备相应的 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 溶液、硝酸、超纯水贮存及固体物料的加料设施。

5.2.3 系统设计时，应使整个系统工艺设计合理，并达到一定的自动化水平。

5.2.4 溶解反应器、配制容器和贮存容器的材料应确保硝酸和 $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 燃料溶液所接触到材料不因腐蚀而导致燃料溶液的杂质含量超标。

5.2.5 为保证配制溶液铀浓度和酸度的准确性，系统设计时，应充分考虑原料、硝酸、超纯水的准确计量要求。

5.2.6 燃料溶液配制系统应设计相应的原料和所配制的燃料溶液贮存设施。

5.2.7 系统设计时，还应考虑配制溶液各项指标的检验，配备相应的检测设施。

5.2.8 系统设计时，应考虑提供在必要时对整个燃料溶液配制设备的去污和清洗的设施。

5.3 燃料溶液配制场所设计

5.3.1 燃料溶液配制场所不得是通向其它操作区的道路的一部分。

5.3.2 燃料溶液配制场所的设计必须满足核安全导则 HAD102/11 的要求。

5.3.3 应具备完备的供电系统、通风系统、给水系统、特排与疏水系统和通讯设备。

5.3.4 燃料溶液配制场所的抗震设计应满足 HAFJ0002 的要求。

5.3.5 燃料溶液配制场所的安全设计应充分考虑防盗窃，配备完备的防盗窃设施和装备，应满足 EJ/T 1054 的要求。

5.3.6 燃料溶液配制场所应设置固体和液体核物料暂存设施，应满足 HAF501 的要求。

附件 1

MIPR 燃料溶液— $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 溶液、 U_3O_8 粉末、超纯水技术指标

| 燃料溶液名称 | 富集度 | 铀浓度 (g/L) | HNO_3 浓度 (mol/L) | (F^-) | (Cl^-) | 电导率 ($\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$) | 其它杂质含量 |
|---------------------------------|-----|-----------|---------------------------|-----------------------|-----------------------|--|-----------------|
| $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ 溶液 | 90% | 50 | 0.2 | $\leq 0.1\text{mg/L}$ | $\leq 0.1\text{mg/L}$ | — | 符合国标 GB10265-88 |
| U_3O_8 粉末 | 90% | — | — | $\leq 2\mu\text{g/g}$ | $\leq 2\mu\text{g/g}$ | — | 符合国标 GB10265-88 |
| 超纯水 | — | — | — | — | — | ≥ 18 | 符合国标 GB10265-88 |

本设计准则由中国核动力研究设计院提出

本设计准则由中国核动力研究设计院组织编写

编写人：刘锦洪

校核人：雷茂林

医用同位素生产堆（MIPR） 燃料溶液纯化处理系统设计准则

1 主题内容与适用范围

本准则规定了 MIPR 燃料溶液无机离子交换纯化处理系统的设计原则和基本要求。

本准则适用于 MIPR 燃料溶液无机离子交换纯化处理系统的设计。

2 引用文件

- HAF201 研究堆设计安全规定
- GB18871 电离辐射防护与辐射源安全基本标准
- GB9133 放射性废物分类标准
- EJ380 开放型放射性物质实验室辐射防护设计规范

3 术语和定义

本章无内容。

4 总的设计原则

本系统主要用于去除部分裂变产物和中子毒物、降低燃料溶液辐射剂量。应确保核安全性、密封性和辐射屏蔽有效性，纯化处理工艺简便、可操作，尽量采用同位素提取设施，处理后的燃料溶液能复用，产生放射性废物少，便于放射性废物处理。由于 MIPR 运行时水辐照分解会产生过氧化氢，易引起铀的沉淀，需要一定的杂质作为催化剂分解过氧化氢，故杂质不需全部去除，去除率大于 70%即可。

5 设计要求

5.1 核安全设计要求

核安全设计应考虑燃料溶液的临界安全，在任何情况下，燃料溶液始终处于次临界状态， K_{eff} 应小于 0.9。

5.2 安全等级和抗震类别

本系统的安全等级为安全级（SC），质量保证等级为 1 级（QA1），抗震类别为 I 类。

5.3 密封性设计要求

MIPR 燃料溶液纯化处理系统应充分利用核素提取系统，通过更换分离柱即可实现，系统应具有高度密封性。纯化装置及管道的阀门均置于屏蔽热室内，微小的气漏应进入放射性气体收集处理系统进行处理，微小的滴漏应有收集盘收集，然后根据放射性强度由放射性废物处理系统进行处理。屏蔽热室内的纯化装置和相关管道的阀门要便于维修拆换。

5.4 辐射防护设计要求

辐射防护设计应符合 EJ380 规定。设计屏蔽层时，应按燃料溶液纯化处理系统可

能操作的最大放射性源强，最危险的距离和可能工作的最长时间进行计算，同时还应考虑可能出现的意外事故的辐射防护。辐射防护设计应确保燃料溶液纯化处理人员及环境公众所接受的外照射当量剂量低于 GB18871 的剂量限值。

5.5 纯化处理工艺设计要求

MIPR 燃料溶液纯化处理工艺设计要考虑纯化处理试剂和设备的耐辐照性，应采用耐辐照的无机离子交换剂和耐辐照的离子交换柱，纯化工艺不引入其他有害杂质，纯化过程中铀损失量少，使纯化后的燃料溶液的铀总量基本不变，燃料溶液酸度不变，确保纯化处理后的燃料溶液可以直接复用。

MIPR 燃料溶液纯化处理系统设计应尽量减少放射性废物产生，特别是尽量不产生或少产生放射性废液，燃料溶液纯化处理分离出的放射性裂变产物应以固体形式存在，便于转移和有用放射性核素的提取分离，便于放射性废物的暂存、转运、处理和最终处置。

5.6 机械设计要求

5.6.1 材料要求

本系统各承压部件的材料必须满足《钢制石油压力容器设计规定》中的有关规定。

材料选择必须考虑在正常运行以及预期运行事件条件下的腐蚀、去污和辐照效应。

5.6.2 焊接要求

本系统所有承压部件尽量采用焊接结构，焊接必须满足 GB4709-2000《钢制压力容器焊接规定》。

5.7 电气设计要求

本系统的电气设计应满足有关电气设计准则的规定。

5.8 仪表与控制设计要求

5.8.1 仪表要求

- a. 本系统必须配备足够、可靠的仪表，以保证系统安全、正常的运行；
- b. 仪表必须能指示或记录系统及其设备所必须的参数；
- c. 确定仪表的测量范围时，必须考虑正常运行工况以及预期运行事件；
- d. 与安全有关的工艺参数在超过限定范围时，仪表必须能及时发出报警信号；
- e. 本系统必须配备适当的剂量仪表，以监测不同区域内的辐射强度以及污染水平。

5.8.2 控制要求

- a. 本系统应设有专门的控制盘，控制盘上除安装工艺检测仪表的显示部分外，还应包括指示灯等控制部件；
- b. 本系统的设备、阀门及一般的操作可根据需要选择手动开关或自动控制；
- c. 系统各主要操作岗位之间以及本系统与反应堆主控制室之间配备通讯联络设备。

5.9 安装要求

系统的设计必须在设计文件中对本系统的设备、管道、电气、仪表及控制设备的安装提出明确的要求。

5.10 试验和检查要求

系统的设计应详细规定本系统所必要的试验、检查和维修的措施及记录要求，以确保系统具有完成全部功能的能力。

本设计准则由中国核动力研究设计院提出

本设计准则由中国核动力研究设计院组织编写

编写人：张劲松、李茂良

校核人：柴德安