

附件 1

核安全导则 HAD 102/11-2019

# 核动力厂防火与防爆设计

(国家核安全局 2019 年 12 月 31 日批准发布)

国家核安全局

# 核动力厂防火与防爆设计

(2019 年 12 月 31 日国家核安全局批准发布)

本导则自 2019 年 12 月 31 日起实施

本导则由国家核安全局负责解释

本导则是指导性文件。在实际工作中可以采用不同于本导则的方法和方案,但必须证明所采用的方法和方案至少具有与本导则相同的安全水平。

## 1 引言

### 1.1 目的

1.1.1 本导则是对《核动力厂设计安全规定》（HAF 102，以下简称《规定》）中有关条款的说明和细化，为核动力厂设计单位和执照申请者提供关于核动力厂内部防火与防爆设计的指导。

1.1.2 本导则的附件为参考性文件。

### 1.2 范围

1.2.1 本导则适用于陆上固定式热中子反应堆核动力厂。对于其他类型的核动力厂，其内部防火与防爆设计可参照本导则，但应进行针对性评价。

1.2.2 本导则只涉及为保护核动力厂安全重要物项而采用的内部防火与防爆设计措施，不包括对核动力厂消防、人员安全防护和财产保护的一般要求。

1.2.3 本导则防爆相关内容为对核动力厂系统和部件释放出的易燃液体和气体所致爆炸的防护，不涉及对系统和部件自身爆炸的防护。系统和部件应通过自身设计解决其防爆问题。

## 2 总则

### 2.1 概述

2.1.1 《规定》对核动力厂消防系统提出了基本要求。在核

动力厂安全重要构筑物、系统和部件的设计和布置中，应尽可能降低内、外部事件引发内部火灾与爆炸的可能性，缓解其后果。应保持停堆、排出余热、包容放射性物质和监测核动力厂状态的能力。应通过采用多重部件、多样系统、实体隔离和故障安全的适当组合实现下述目标：

- (1) 防止火灾发生；
- (2) 快速探测并扑灭确已发生的火灾，从而限制火灾的损害；
- (3) 防止尚未扑灭的火灾蔓延，使其对执行重要安全功能系统的影响减至最小。

2.1.2 核动力厂的防火设计应符合以下要求：

- (1) 将火灾发生的概率降至最低；
- (2) 通过自动和/或人工消防的组合达到火灾的早期探测和灭火；
- (3) 通过防火屏障和实体或空间隔离防止火灾蔓延。

2.1.3 防爆设计应按以下步骤实施：

- (1) 防止爆炸发生；
- (2) 如果爆炸环境不可避免，应将爆炸的风险减至最小；
- (3) 采取设计措施限制爆炸后果。

在步骤(1)、(2)都不能实现的情况下，应采用步骤(3)。

2.1.4 在核动力厂设计中，应设置多重安全系统，避免假设始发事件（如火灾或爆炸）妨碍安全系统执行规定的安全功

能。当安全系统的多重性和多样性降低时，应强化每一重安全系统免受火灾和爆炸影响的保护措施。火灾方面，一般可通过非能动防护、实体隔离的改进，和/或使用更多的火灾自动报警系统和灭火系统来实现。

2.1.5 应根据以下假设开展防火设计：

(1) 火灾可发生在任何有固定或临时可燃物料处；

(2) 同一时间只发生一场火灾，随后出现的火灾蔓延应被认为是该单一事件的一部分；

(3) 火灾可发生在核动力厂任何正常运行状态下。

另外，应考虑火灾和其他可能独立于火灾的假设始发事件的组合（见 2.5 节）。

2.1.6 应进行火灾危害性分析以证明核动力厂设计满足 2.1.1 节所述的安全目标。3.5 节给出了火灾危害性分析的范围和指导。

## 2.2 火灾预防

2.2.1 核动力厂的火灾荷载应保持在合理可行的最小值，应尽可能采用不燃材料，否则应采用阻燃材料。

2.2.2 应将点燃源的数目减至最少。

2.2.3 核动力厂各系统的设计应尽可能保证不会因其失效而引起火灾。

2.2.4 对于功能失效或故障可能引起不可接受的放射性物质

释放的安全重要物项，应采取相应的保护措施使其免受雷击等自然现象所引起火灾的危害。

2.2.5 应采取设计措施妥善贮存运行中的临时可燃物料，使其远离安全重要物项，或采取必要的保护措施。核动力厂运行阶段防火方面的指导见核动力厂运行防火安全的相关导则。

## 2.3 火灾自动报警和灭火

2.3.1 应设置火灾自动报警系统和灭火系统，以及火灾危害性分析确定的其他必要系统（见 3.5 节）。火灾自动报警系统和灭火系统应在发生火灾时及时报警和/或迅速灭火，并把火灾对安全重要物项和工作人员的不利影响降至最低。

2.3.2 灭火系统在必要时应能自动启动。灭火系统的设计和布置应保证其运行、破裂或误操作不影响安全重要构筑物、系统和部件的功能，不损坏临界事故的防护措施，不同时影响多重安全系列，确保为满足单一故障准则而采取的措施有效。

2.3.3 应考虑灭火系统发生故障的可能性。应考虑来自防火区相邻位置或相邻防火小区中系统流出物的影响。

2.3.4 为保证人工灭火行动顺利实施，应设置适当的应急照明和通信设备。

## 2.4 火灾包容和减轻火灾后果

2.4.1 应将安全系统的多重部件充分隔离，以保证火灾只会影响安全系统某一系列，而不会妨碍冗余设置的另一系列执行安

全功能。可将安全系统的每个冗余系列置于独立的防火区内，或至少置于独立的防火小区内以实现上述目标（见 3.3—3.4 节）。应将防火区之间的贯穿部件数量减至最少。

2.4.2 应针对包含安全系统的所有区域，以及其他对安全系统构成火灾危害的部位分析假想火灾的后果。分析中应假定假想火灾所处防火区或防火小区内所有安全系统的功能全部失效，除非该安全系统由经鉴定合格的防火屏障保护或能承受火灾后果。对于例外情况，应证明分析的合理性。

2.4.3 每一防火区中的火灾自动报警系统、灭火系统及其支持系统（如通风、排水系统等）应尽可能独立于这些系统在其他防火区中的对应部分，以保持相邻防火区内这些系统的可运行性。

## 2.5 事件组合

2.5.1 如概率安全分析能够证明某种极不可能发生事件的随机组合发生频率低至可以忽略，则这种事件组合可不作为假设事故考虑。

2.5.2 消防系统和设备的设计应考虑火灾和其他可能独立于火灾的假设始发事件的组合，并采取适当应对措施。例如，对于失水事故和独立火灾事件的组合，应考虑在事故后的长期阶段发生独立火灾，而不考虑在事故发生和缓解系统启动等短期阶段中叠加发生独立火灾。

2.5.3 一个假设始发事件不应导致危及安全系统的火灾。应在

火灾危害性分析中确定可能导致火灾的原因，如严重的地震事件或汽轮发电机解体，必要时应采取特定的应对措施（如使用电缆包覆、火灾自动报警系统和灭火系统等）。在火灾危害性分析中，应特别注意高温设备和输送易燃液体、气体的管路失效的可能。

2.5.4 应识别出在假设始发事件的各种效应下仍需要维持其功能（如完整性，和/或功能性，和/或可运行性）的消防系统和设备，并对其进行适当的设计和鉴定，使其具备抵御假设始发事件影响的适当能力。

2.5.5 对于发生假设始发事件后无需维持其功能的消防系统和设备，其设计和鉴定应保证其失效方式不会危及核安全相关物项。

## 2.6 爆炸危害的防护

2.6.1 核动力厂应通过设计尽可能消除爆炸危害。设计中应优先考虑防止或限制形成爆炸性环境的措施。

2.6.2 应尽可能将可能产生或有助于产生爆炸性混合气体的易燃气体、可燃液体和可燃物料排除在防火区、防火小区、与防火区和防火小区相邻的区域、以及通过通风系统相联的区域之外。如不能实现，则应严格限制这些物料的数量并提供足够的贮存设施，并将活性物质、氧化剂和可燃物料相互隔离。易燃气体压缩钢瓶应妥善存放在远离主厂房的专用围场内，并根据所处局部环境条件提供适当保护。应考虑设置火灾自动报警系统、易燃气体



自动探测系统和自动灭火系统，以防止火灾引发爆炸影响其他厂房内的安全重要物项。

2.6.3 应针对防火区、防火小区，以及爆炸对这些区域有明显危害的其他区域识别其爆炸危害。在识别爆炸危害中应考虑物理爆炸（如高能电弧引起的快速空气膨胀），化学爆炸（如气体混合物爆炸、充油变压器爆炸）和火灾引起的爆炸，还应考虑假设始发事件的效应（如易燃气体输送管道破裂）。

2.6.4 应选择适当的电气部件（如断路器），并通过设计限制电弧可能出现的概率、大小和持续时间，将物理爆炸的危害减至最小。

2.6.5 如不能避免形成爆炸性环境，则应采用适当的设计或制定必要的运行规程将风险减至最小，相关措施包括：限制爆炸性气体的体积、消除点燃源、足够的通风量、选择适用于爆炸性环境的电气设备、惰化、泄爆（如爆破板或其他压力释放装置）以及与安全重要物项隔离等。应识别在假设始发事件后需要维持功能的设备，并对其进行适当的设计和鉴定。

2.6.6 应通过隔离潜在火灾与潜在爆炸性液体和气体，或通过能动措施（如能提供冷却和蒸汽扩散的固定水基灭火系统）将火灾引起爆炸（如沸腾液体膨胀汽化爆炸）的风险减至最低。应考虑由沸腾液体膨胀汽化爆炸产生的冲击波超压和飞射物，以及在远离释放点位置点燃易燃气体导致气云爆炸的可能性。

2.6.7 应识别不能消除的爆炸危害，并采取设计措施限制爆炸后果（如超压、产生飞射物或火灾）。应根据 2.1.1 节的要求评价假想爆炸对安全系统的影响。还应评价主控室和辅助控制室运行人员的疏散和救援路线。在必要时应采取特定的设计措施。

## 3 厂房设计

### 3.1 概述

3.1.1 为保证在核动力厂设计中体现第 2 章所述的防火安全目标，本章对必要的设计活动进行说明。

### 3.2 布置和建造

3.2.1 在设计初期，应对厂房进行防火分区。防火分区将安全重要物项与高火灾荷载相隔离，并将多重安全系统相互隔离。通过隔离降低火灾蔓延风险，减小火灾的二次效应并防止共模故障。

3.2.2 厂房构筑物应具有适当的耐火能力。对于布置在防火区内或构成防火区边界的厂房结构部件，其耐火稳定性等级（承载能力）应不小于防火区自身的耐火极限要求。

3.2.3 核动力厂全厂（特别是反应堆安全壳和控制室内）应尽可能使用不燃或阻燃和耐热材料。

3.2.4 应在设计初始阶段为可燃物料及其在厂房中的位置建立清单。该清单是火灾危害性分析的重要输入，应在核动力厂整

个寿期内不断更新。

3.2.5 应尽可能避免在安全重要物项附近布置可燃物料。

3.2.6 应设置足够的疏散和救援路线（见附件 II）。

### 3.3 防火区的应用：火灾封锁法

3.3.1 为体现第 2 章中所述的隔离原则，并将安全重要物项与高火灾荷载及其他火灾危害隔离，应优先考虑将多重安全重要物项布置在相互隔离的防火区内。这种方法称为火灾封锁法。

3.3.2 防火区是一个完全由防火屏障包围的厂房或区域。防火区防火屏障的耐火极限应足够高，即使其中的火灾荷载完全燃烧也不应破坏该防火屏障。

3.3.3 应将火灾包容在防火区内，防止火灾及其效应（如烟气和热量）在防火区之间传播，从而避免多重安全重要物项的同时失效。

3.3.4 防火屏障提供的隔离应可靠，不能因火灾作用在共用厂房部件（如建筑设备系统或通风系统）上的温度或压力效应而减弱。

3.3.5 鉴于任何贯穿部件都会降低防火屏障可靠性和总的效果，应将贯穿部件的数量减至最少。对于构成防火屏障一部分的通道封闭装置（如防火门、防火阀、安全壳闸门、防火封堵等）和防火区边界，其耐火极限至少应与防火屏障自身所需耐火极限相同。

3.3.6 对于采用火灾封锁法的防火区，应在火灾危害性分析确定有高火灾荷载的区域设置灭火系统，以尽快控制火灾。

3.3.7 应在火灾危害性分析中确定构成防火区边界的防火屏障的耐火极限，该耐火极限至少为 60 分钟。附件 III 中提供了关于防火屏障和贯穿部件的相关信息。

### 3.4 防火小区的应用：火灾扑灭法

3.4.1 核动力厂设计中，防火要求和其他要求之间的冲突可能会限制火灾封锁法的应用。例如：

(1) 在反应堆安全壳、控制室或辅助控制室区域，安全系统的多重系列可能会布置在同一个防火区中且相互靠近；

(2) 使用建筑构件构成的防火屏障可能会过度地影响核动力厂正常活动（如核动力厂维修、接近设备和在役检查）的区域。

3.4.2 上述情况中，如不能使用防火区隔离安全重要物项，可将安全重要物项设置于分隔的防火小区中进行防护。这种方法称为火灾扑灭法。

3.4.3 防火小区是多重安全重要物项分别布置在其中的分隔区域，防火小区可能不具有完全包围它的防火屏障，因此应采取其他防护措施防止火灾在防火小区间蔓延。这些措施包括：

- (1) 限制使用可燃物料；
- (2) 设备之间采用距离分隔，且中间没有可燃物料；
- (3) 设置就地非能动防火措施，如防火屏或电缆包覆；

(4) 设置灭火系统。

可以采用能动和非能动防火措施的组合以达到适当的防护水平，如可同时使用防火屏障和灭火系统。

3.4.4 应通过火灾危害性分析证明，在不同防火小区内防止多重安全重要物项失效的保护措施是充分的。

3.4.5 如防火小区间仅采用距离分隔进行防护，应通过火灾危害性分析证明辐射和对流传热效应不会破坏该分隔作用。

### 3.5 火灾危害性分析

3.5.1 应进行核动力厂火灾危害性分析，特别是要通过火灾危害性分析确定必要的防火屏障耐火极限以及火灾自动报警系统和灭火系统能力，以证明满足 2.1.1 节中的所有安全要求。

3.5.2 应在核动力厂初步设计阶段开展火灾危害性分析，在反应堆首次装料前进行更新，并在运行期间定期更新。

3.5.3 火灾危害性分析应以 2.1.5 节所述的假设为基础。

3.5.4 对于多机组核动力厂，防火设计中无需考虑在多个机组中同时发生相互无关的火灾，但在火灾危害性分析中应考虑火灾从一个机组蔓延到其他机组的可能性。

3.5.5 火灾危害性分析有以下目的：

(1) 识别安全重要物项，确定安全重要物项每个部件在各防火分区内的位置；

(2) 分析预计的火灾发展过程及其对安全重要物项造成的后

果（应说明分析方法所用的假设和限制条件）；

（3）确定防火屏障（特别是防火区边界）所需的耐火极限；

（4）确定必要的非能动和能动防火措施；

（5）识别需要设置附加防火分隔或防火措施的情况，特别是对于共模故障，确保安全系统在火灾期间及之后仍能保持功能。

确定必要的非能动和能动防火措施的范围，以分隔防火小区。

（6）验证防火设计满足了 2.1.1 节的要求。

3.5.6 应在火灾危害性分析中对火灾和灭火系统的二次效应进行评估，确保不会对核安全产生不利影响。

3.5.7 概率安全分析可作为确定论方法的补充。在核动力厂设计阶段，可以用概率安全分析识别火灾风险和对火灾风险分级，并用概率安全分析支持确定论方法得出的核动力厂布置和防火设计。

### 3.6 火灾和灭火系统的二次效应

3.6.1 火灾一次效应是在防火区和防火小区中火灾对安全系统的直接损坏。火灾二次效应是指火灾烟气和热量传播到防火区或防火小区以外的相关效应。本节对二次效应进行概述，减轻火灾二次效应的指导见第 6 章。

3.6.2 二次效应对安全的影响取决于所分析区域防火设计基础方法的选择（火灾封锁法或火灾扑灭法）。设计合理的防火区的防火屏障可以防止防火区之间二次效应的传播，但在防火小区之

间可能发生二次效应的传播。二次效应举例如下：

(1)水喷雾导致液体中子毒物的过度稀释及其对第二停堆系统效果的影响；

(2)水喷雾对贮存中的有一定富集度的燃料临界安全的影响；

(3)水喷雾导致放射性物质的扩散而污染其他区域和排水系统；

(4)灭火系统在其正确动作或误动作喷放后的不可用；

(5)误启动一个灭火系统后产生的显著有害效应和其他灭火系统的不可用。在水基灭火系统中，这可能是因第一个系统启动引起管网中压力波动所导致；

(6)热量、烟气、水喷雾、水喷雾蒸发的蒸汽、雨淋或喷淋系统引起的水淹和泡沫液的腐蚀对安全重要物项的有害影响；

(7)电缆绝缘体燃烧产生的腐蚀性产物可能被带到远离初始火灾的潮湿环境区域，在初始火灾后若干小时或数天后导致可能的设备和构筑物腐蚀或电气故障；

(8)干粉化学灭火剂引起电气接头绝缘破裂或腐蚀，导致电气开关装置的故障；

(9)二氧化碳灭火系统的喷放使温度突然下降或压力冲击，引起敏感电子设备误动作；

(10)水喷放到高温金属部件上，造成温度突然下降；

(11) 水侵入到电气系统，引起短路或接地导致的故障；

(12) 设备或管道损坏导致的电气回路断路、短路、接地错误、电弧放电和附加能量输入；

(13) 由构筑物变形或坍塌引起的、并可能由（二次）爆炸产生飞射物而加重的机械损坏，以及对安全重要物项产生的附加荷载和高温流体释放；

(14) 烟气汇集和热量累积妨碍工作人员有效执行必要的职责（如在控制室）；

(15) 疏散和救援路线受阻。

## 4 火灾预防措施和爆炸危害控制

### 4.1 概述

4.1.1 核动力厂内包含一系列可燃物料，如部分构筑物、设备、电缆线路或贮存的各种物料。由于假设在核动力厂内任何存在可燃物料的区域都可能发生火灾，因此应在设计中对所有固定或临时的火灾荷载采取火灾预防措施。这些措施包括将固定可燃物料的火灾荷载减至最小、防止临时可燃物料的积累、控制或消除点燃源等。

4.1.2 应在核动力厂设计初期开始火灾预防措施的设计，并在核燃料到达厂区之前完成实施。



## 4.2 可燃物料控制

4.2.1 为了减少火灾荷载并将火灾危害降至最低，应尽可能考虑以下方面：

(1) 建筑材料（如结构材料、绝热层、覆盖层、涂层和楼板材料）和固定设施尽可能使用不燃材料；

(2) 使用不燃或难燃构造的空气过滤器和过滤器框架；

(3) 润滑油管线采用保护套管或双层管设计；

(4) 汽轮机和其他设备的控制系统使用难燃液压控制液；

(5) 厂房内部选用干式变压器；

(6) 大型充油式变压器设置在不会因火灾而导致过度危害的外部区域；

(7) 电气设备（如开关、断路器）和控制隔间、仪表隔间中使用不燃或阻燃材料；

(8) 多重系列开关柜之间、开关柜与其他设备之间通过防火屏障或防火区隔离；

(9) 使用阻燃电缆或耐火电缆（电缆火灾的防护见附件IV）；

(10) 设置防火屏障或防火区，将包含高火灾荷载电缆的区域（竖井或电缆敷设间）与其他设备隔离；

(11) 脚手架和工作台使用不燃材料制作。

4.2.2 应采取措施防止绝热材料吸收易燃液体（如油），设置

适当的保护性覆盖或防滴落措施。

4.2.3 电气系统设计应尽可能不引发或助长火灾。

4.2.4 电缆应敷设在钢制桥架、电缆配管中，或其他可接受结构形式的不燃电缆支架上。动力电缆之间及电缆桥架之间的距离应足够大，以防止电缆过热。电气保护系统的设计应避免电缆在正常负荷和暂时短路情况下过热。安全重要物项的电缆应尽可能避免穿过高火灾危害的区域。

4.2.5 核动力厂厂房内易燃液体和气体的允许贮存量应最小化。包含安全重要物项的区域或厂房内不应储存大量的易燃或可燃物料。

4.2.6 易燃液体或气体的包容系统应具有高度完整性以防止泄漏，并应保护它们免受振动和其他效应的破坏。应设置安全装置（如限流、过流和/或自动切断装置以及围挡装置），限制发生故障时可能的溢流。

### 4.3 爆炸危害控制

4.3.1 氢气瓶、氢气专用容器以及供应管线应设置在与包含安全重要物项区域相隔离的室外通风良好区域。若布置在室内，设备应设置在外墙处，且与包含安全重要物项的区域隔离，并在贮存处设置通风系统，以保证在发生气体泄漏时维持氢气浓度远低于爆炸下限。应设置能在适当的低氢气浓度水平下报警的氢气探测设备。

4.3.2 应在氢气冷却汽轮发电机组处设置监测装置，以指示冷却系统中氢气的压力和纯度。在充、排气前应使用不活泼气体（如二氧化碳或氮气）清扫充氢气部件、相关管道和风管系统。

4.3.3 在核动力厂运行中存在氢气潜在危害处，应采取使用氢气监测设备、复合器、适当的通风、受控氢气燃烧系统、采用适用于爆炸性气体环境的设备等适当措施控制危害。在采用惰化措施的场所，应考虑在维修和换料期间火灾危害性的上升，并注意保证气体混合物在不可燃限值范围内。

4.3.4 适用时，应按照上述规定贮存和使用运行中大量需要的任何其他易燃气体，包括用于维护和维修工作的储气（如乙炔、丙烷、丁烷和液化石油气）钢瓶。

4.3.5 应在运行中可能产生氢气的蓄电池间设置独立的排风系统，直接排风至厂房外，使氢气浓度保持在低于燃烧下限的安全水平。蓄电池间应设置氢气探测系统和通风系统传感器，相关的氢气浓度接近燃烧下限水平、通风系统故障等应能在控制室报警和显示。应在蓄电池间布置和通风系统设计中防止氢气局部积聚。若蓄电池间通风系统中设有防火阀，应考虑其关闭对氢气积聚的影响。应考虑使用氢气释放量较少的蓄电池，但不能因此认为可以消除产生氢气的风险。

#### 4.4 可燃物料控制的附加考虑

4.4.1 应迅速探测出固定装置内易燃液体或气体的显著泄

漏，以便及时采取纠正行动。可使用固定式易燃气体探测器、鉴定合格的液位报警器或压力报警器，以及其他适当的自动或手动措施探测泄漏。

4.4.2 在核动力厂可能存在大量易燃液体的场所，应采取措限制破裂、泄漏或喷溅造成易燃液体释放。应采用不燃墙体或堤围挡易燃液体罐、贮存区域或贮存库，该围挡应具有足够的容积，以容纳该场所易燃液体的所有储量和预计的消防泡沫或消防水量。在适用时，油管应包裹在连续的同轴钢套管内或布置在混凝土槽中，以防止管道破裂时油的泄漏。应设置排放沟，将溢出的物料排放到安全位置，以限制向环境的释放并防止火灾蔓延。

4.4.3 应设置有适当耐火极限的贮存间，以容纳核动力厂运行所需的少量易燃液体。

## 4.5 防雷

包含安全重要物项的厂房或区域应设置防雷系统。防雷系统的相关建议和指导见核动力厂应急动力系统、仪表和控制系统的相相关导则。

## 4.6 点燃源的控制

应控制源自于系统和设备的潜在点燃源，尽可能通过设计使系统和设备不产生任何点燃源。若存在点燃源，应将其封闭或与可燃物料相隔离以保证安全。应根据工作环境对电气设备进行选择 and 分级。应使输送可燃液体或气体的设备正确接地。对无法布

置在其他位置的可燃物料附近的高温管网，应进行屏蔽和/或绝热。

#### 4.7 多机组核动力厂

4.7.1 在多机组核动力厂的建造或运行中，应采取措施保证一个机组发生的火灾不会对邻近运行机组造成安全影响，必要时应采用临时防火隔离措施保护运行机组。

4.7.2 应考虑机组间共用设施发生火灾的可能性。

### 5 火灾自动报警和灭火

#### 5.1 概述

5.1.1 为保护安全重要物项，核动力厂应随时具备火灾自动报警和有效控制火灾的能力，并可通过固定灭火系统与人工灭火能力的组合实现火灾控制。为保证防火区和防火小区有足够的防火安全水平，核动力厂设计中应考虑以下因素：

(1)火灾自动报警系统和灭火系统作为防火区或防火小区安全防火必须的能动部件，应严格控制其设计、采购、安装、验证和定期试验，以保证其可用性。灭火系统应包含在其所保护的安全功能的单一故障准则评价中；

(2)用于应对假设始发事件（如地震）后潜在火灾的火灾自动报警系统或固定灭火系统应能抵御该假设始发事件的影响；

(3) 灭火系统的正常运行或误操作应不影响安全功能。

5.1.2 在核燃料到达厂区之前，所有火灾自动报警系统均应可用，并有充分可用的灭火设备保护核燃料在贮存和运输过程中不受火灾影响。在反应堆首次装料之前，所有灭火系统均应可用。

5.1.3 火灾自动报警系统和灭火系统的可靠性应与其在纵深防御中所起的作用相匹配。

5.1.4 火灾自动报警系统和灭火系统应易于接近，以便检查、维修和试验。

5.1.5 应将火灾自动报警系统和灭火系统的误报警和误喷放减至最少。

## 5.2 火灾自动报警系统

5.2.1 每个防火区或防火小区均应配备火灾自动报警系统（火灾探测器的具体指导见附件 V）。

5.2.2 应在火灾危害性分析中确定火灾自动报警系统的特性、布置、所需的响应时间和探测器特性。

5.2.3 火灾自动报警系统应通过声光报警在控制室中指示火灾位置。对于通常有人员活动的区域，还应设置就地声光报警。火灾报警信号应是独特的，不与厂内其他报警信号相混淆。

5.2.4 应为所有的火灾自动报警系统设置不间断应急供电，并在必要处设置耐火供电电缆，以确保在失去正常供电时不丧失功能。

5.2.5 应合理布置探测器，避免正常运行所需风量和压差造成的气流将烟气或热量带离探测器，从而使探测器报警的启动过度滞后。火灾探测器的布置应避免通风系统气流引发误报警。

5.2.6 在选择和安装火灾自动报警系统探测设备时，应考虑其工作环境（如辐射、湿度、温度和气流）。若由于环境原因（如强辐射水平或高温）不宜将探测器放置在需要保护的区域内，应考虑替代方法，例如用自动运行的远距离探测器对需保护区域进行气体采样分析。

5.2.7 自动灭火系统的启动应有信号指示。

5.2.8 若由火灾自动报警系统控制的消防设施（消防泵、水喷雾系统、通风设备和防火阀等）的误动作对核动力厂存在不利影响，应使用串联的两个探测信号控制这些消防设施运行。如果发现误动作，可操作停止系统运行。

5.2.9 火灾自动报警系统和灭火启动系统的配线应是：

（1）通过适当选择电缆类型、正确布线、环路结构或其他方法保护其不受火灾的影响；

（2）保护其不受机械损坏；

（3）连续监测其完整性和功能。

## 5.3 固定灭火系统

### 5.3.1 概述

5.3.1.1 核动力厂应设置固定灭火设备，其中包括人工灭火

设备（如消火栓等）。

5.3.1.2 火灾危害性分析应确定自动灭火系统（如自动喷水系统，水喷雾系统，泡沫、细水雾或气体系统，干式化学系统）的需求。灭火系统的设计应基于火灾危害性分析的结果，以保证设计与需要防护的火灾危害相匹配。

5.3.1.3 在选择需要安装的灭火系统类型时，应按火灾危害性分析中的要求，考虑必需的响应时间、火灾抑制特性（如热冲击）和系统运行对人员和安全重要物项的影响（如水或泡沫淹没核燃料贮存区域可能达到临界条件）。

5.3.1.4 在含有高火灾荷载的场所（有深部火灾可能性的位置 and 需要冷却的位置），通常应优先选用水系统。在电缆敷设间和贮存区，应采用自动水喷淋或水喷雾灭火系统。对于含油量大的设备（如汽轮发电机和油冷变压器）的灭火，可采用自动水喷淋灭火系统、水喷雾灭火系统或泡沫灭火系统。细水雾系统具有喷放少量水就可以控制火灾的优势。气体灭火系统通常用于包含控制柜和其他易受水损坏的电气设备场所。

5.3.1.5 为保证灭火系统在紧急火情时能够迅速启动，应优先选择自动灭火系统。除湿式自动喷水系统外，其他自动灭火系统应具有手动启动措施。所有自动灭火系统均应设置可以终止误喷放的手动停止措施。

5.3.1.6 只有在手动启动灭火系统的延迟不会导致不可接受



的损害的情况下，才可采用手动操作灭火系统。

5.3.1.7 对于仅可手动启动的固定灭火系统，应能在一段时间内承受火灾影响，以便有充分的时间手动启动。

5.3.1.8 对灭火系统的所有电气启动系统及供电部件（除探测装置本身），都应进行防火保护或将其布置在该灭火系统保护的防火区之外。灭火系统的供电故障应能引发报警。

5.3.1.9 应编制维修、试验和检查大纲，以保证消防系统及部件可正确运行和满足设计要求。相关建议和指导见核动力厂运行防火安全的相关导则。

### 5.3.2 水基灭火系统

5.3.2.1 水基灭火系统应能够永久性连接到可靠、充足的消防水源。

5.3.2.2 水基自动灭火系统包括自动喷水、水喷雾、雨淋、泡沫和细水雾系统。这些系统特性的概述见附件VI。根据火灾危害性分析，应在存在以下任一特征的场所设置自动水喷淋（或水喷雾）系统：

- （1）存在高火灾荷载；
- （2）可能出现火灾的快速蔓延；
- （3）火灾可能损害多重安全系统；
- （4）火灾对消防队员可能产生不可接受的危害；
- （5）不可控火灾会导致难以接近灭火位置。

5.3.2.3 若火灾危害性分析表明仅使用水不能有效地处置危害（如对含有可燃液体的装置），则应考虑采用泡沫灭火系统。

5.3.2.4 除了假想火灾，水喷淋系统的设计还应该考虑多种因素。这些因素包括喷头的间距和位置、闭式或开式喷头系统的选择、喷头和执行部件的额定温度和热响应时间、灭火所需的喷水流量等。对这些因素的进一步讨论见附件VI。

5.3.2.5 为避免电化学腐蚀，水喷淋和水喷雾系统零部件的材料应相互匹配。

### 5.3.3 消火栓、消火栓立管和水龙带系统

5.3.3.1 反应堆厂房应设置干式或无压湿式管网和水龙带系统。反应堆厂房消火栓系统应能就地或远程操作。

5.3.3.2 室外消火栓供水环路应覆盖核动力厂所有室外区域，室内消防立管系统应覆盖核动力厂所有室内区域。室内消防立管系统应配有针对火灾的充分数量和长度的消防水龙带、足够的接口和附件。

5.3.3.3 消火栓水龙带接口和消防立管接口应与核动力厂内、外的灭火设备相匹配。

5.3.3.4 在厂区内的所有关键位置上均应配置适用的灭火器材附件，如消防水龙带、水带接口、泡沫混合器和水枪等。这些附件应可以与厂外消防装置相匹配。

5.3.3.5 通向独立厂房的每条消防支管上，至少应有两个独

立的消火栓布置点。应在每条支管上设置指示型隔离阀。

### 5.3.4 消防供水系统

5.3.4.1 消防供水系统的主环路应按照最大供水水量进行设计。灭火设备的供水应通过主环路分配，使水能从两个方向达到每个连接处（图 1）。

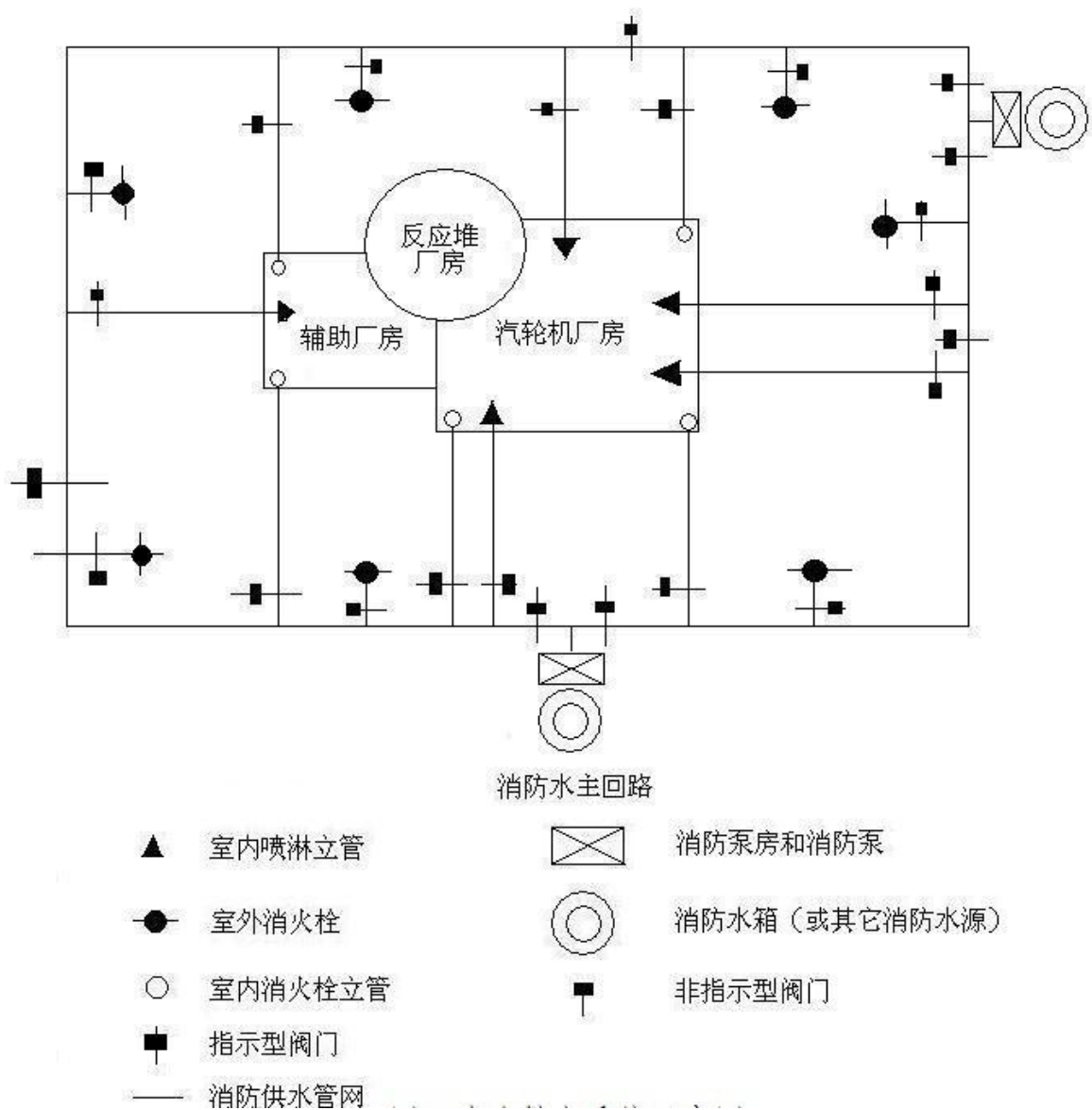


图1 消防供水系统示意图

5.3.4.2 消防水主环路的各部分之间应设置隔离阀门（图1），并设置能显示阀门状态的就地指示。对于火灾危害性分析确定必须的防火分区灭火系统，均不应因主环路上单个阀门的关闭而完全丧失能力。消防水环路上的阀门应远离其保护范围内的火灾，以保持不受该区域内火灾的影响。

5.3.4.3 灭火系统的供水系统通常应仅用于消防。该系统不得与生产用水或生活用水系统的管线相连接，除非这些系统的水可作为消防供水的备用水，或消防供水可执行缓解事故工况的安全功能。在上述情况下，应为这种连接设置常闭隔离阀，并在正常运行期间提供阀门开闭状态监视。

5.3.4.4 在多机组场址中，多个机组可共用供水设施，消防用水主环路也可在一定范围内用于多个机组。

5.3.4.5 在由消防泵运行提供必要消防水的厂区，消防泵应多重设置并相互隔离，以保证可靠、适当的供水能力。消防泵应能独立控制、自动启动和手动关闭，并由核动力厂应急供电系统和独立发动机提供多样化动力驱动，或由满足系统分级要求的柴油机供电系统中不同的系列分别进行供电。在控制室中应能够显示消防泵运行、供电故障或消防泵失效。在有冰冻危险的区域，应设置低温报警。

5.3.4.6 应根据火灾最小持续时间（2 小时）及在所需压力下的最大预计流量设计消防供水系统。该流量由火灾危害性分析得出，应以固定灭火系统运行时的最大需水量加上适当的人工消防用水量为基础进行计算。设计消防供水系统时，应考虑核动力厂内该系统最高出口处的最低压力要求，以及在低温气候条件下的防冻要求。应考虑加热保温或其他措施以防止易损坏管段的冰冻。

5.3.4.7 通常应设置两个独立的可靠水源。如果只设一个水源，则必须是足够大的湖泊、池塘、河流等水体，并应设置至少两个独立的取水口。如果采用水箱，则必须设置两个 100% 系统容量的水箱。核动力厂主供水系统应保证能在足够短时间（8 小时）内重新充满任一水箱。两个水箱必须互相连通，以便消防泵能从任一水箱或同时从两个水箱抽水。在发生泄漏时，每个水箱应能隔离。应在水箱上设置可与消防车或消防泵连接的接口。

5.3.4.8 当消防供水和最终热阱共用同一水源时，还应符合以下条件：

- （1）消防系统所需的供水量应是总水量中的一个专用部分；
- （2）消防系统的运行或故障不应损害向最终热阱供水的功能，向最终热阱供水功能的运行或故障也不应损害消防系统的功能。

5.3.4.9 消防水系统的供水应考虑必要的化学处理和附加过滤，以避免因碎片、生物污垢或腐蚀产物导致喷头堵塞。

5.3.4.10 应采取措施检查喷水设备（如过滤器、连接头和喷

头)。应定期通过喷放试验检查水流,以保证灭火系统在核动力厂整个寿期内能持续执行功能。试验中应采取预防措施,防止水对电子设备的损坏。

### 5.3.5 气体灭火系统

5.3.5.1 二氧化碳及其他不消耗臭氧的气体(如氩气和氩氮混合气和氯氟烃等)可用于气体灭火系统。由于二氧化碳可能引起对工作人员的严重危害,人员正常工作区域不应采用二氧化碳系统灭火。

#### 5.3.5.2 对气体灭火系统应考虑:

(1) 在确定气体灭火系统的需求时,应考虑火灾的类型、灭火剂与其他物质可能的化学反应、对活性炭吸附器的影响,以及热分解产物和灭火剂本身的毒性和腐蚀性;

(2) 气体灭火剂对火灾没有明显的冷却效应,需要冷却的场所(如包含电缆材料的高火灾荷载区域的深部火灾)不应使用气体灭火剂。当需要气体灭火剂扑灭油表面火灾时,应考虑在燃料冷却之前若灭火剂浓度降至低于所需最低水平后燃料重新点燃的可能性;

(3) 使用气体灭火系统的场所,应确认在所需时间段内能维持灭火剂气体所需的灭火浓度;

(4) 气体灭火系统设计应避免导致构筑物或设备损坏的超压;

(5) 气体灭火系统的喷嘴布置应避免初始喷放时吹扫火焰;

(6) 对于可能对工作人员产生危害的二氧化碳灭火系统和其他气体灭火系统, 应设置启动前早期报警, 以便工作人员在系统喷放前从受影响区域快速疏散。

5.3.5.3 对于可能因二氧化碳或其他有害气体从灭火系统中意外泄漏或喷放导致危险环境的场所, 应采取适当的安全预防措施保护进入的工作人员。这些安全预防措施应包括:

(1) 设置当工作人员位于或可能位于系统保护区域内时防止系统自动喷放的装置;

(2) 在保护区域外设置可手动操作系统的装置;

(3) 火灾自动报警系统应在环境恢复为正常状态前持续运行(避免在火灾仍然进行时人员过早进入, 并保护人员免受有毒气体危害);

(4) 灭火气体喷放后, 从厂房入口到系统保护的包容结构应持续报警, 直到环境已恢复到正常状态。

5.3.5.4 应采取预防措施, 防止危险浓度的二氧化碳或其他有害灭火气体泄漏至相邻的可能有人员的区域。

5.3.5.5 应设置措施在气体灭火系统喷放灭火后为受保护封闭区域通风。通常需要对受保护封闭区域进行强制通风以保证排出对工作人员有害的空气且不转移到其他区域。

5.3.5.6 应考虑安全重要物项在气体灭火系统喷放期间或之

后发生局部冷却的后果。

5.3.5.7 附件VII提供了气体灭火系统的进一步指导。

#### 5.3.6 干粉和化学灭火系统

5.3.6.1 干粉和化学灭火系统包括一定量的干粉和化学灭火剂、压缩气体推进剂、相关的分配管网、喷头以及探测和/或启动装置。发生火灾时，系统可通过手动启动，或通过探测系统控制自动或远程启动。该系统通常用于防护易燃液体火灾和某些电气设备火灾。由于干粉灭火后通常会留下腐蚀性残余物，因此对于敏感电气设备区域灭火不应使用干粉灭火剂。

5.3.6.2 所选择的干粉或化学灭火剂应与可燃物料和/或火灾危害相适应。对于金属火灾应使用特定的干粉灭火剂。

5.3.6.3 由于干粉灭火系统喷放后的受污染干粉残余物可能难于去污，应慎重考虑对可能受污染的区域使用干粉灭火系统。使用干粉灭火系统还应考虑可能带来的通风系统过滤器堵塞。

5.3.6.4 应考虑干粉灭火系统和其他灭火系统（如泡沫灭火系统）一起使用时可能出现的不利影响。

5.3.6.5 干粉灭火系统不能提供冷却和惰性环境，且只能最低程度的防护火灾危害，应采取预防措施消除或降低火灾复燃的可能性。

5.3.6.6 干粉灭火系统不易于维护。应采取预防措施防止干粉在贮存容器中结块和在喷放期间堵塞喷嘴。



## 5.4 移动式灭火器

5.4.1 应为核动力厂工作人员灭火提供适当的移动式灭火器，其类型和规格应与所防护的火灾危害相适应。

5.4.2 核动力厂应装备足够数量、适当类型的移动式灭火器，以及相应的配件或设施。应清楚标明所有灭火器的位置。

5.4.3 灭火器宜布置在靠近水龙带的位置，并沿着疏散和救援路线布置。

5.4.4 应考虑使用灭火器可能带来的不利后果，如使用干粉灭火器之后的清洁问题。

5.4.5 对于存在潜在可燃液体火灾危害的区域，应配备适用于扑灭该类火灾的泡沫浓缩液和便携设备。

5.4.6 在核燃料贮存、装卸或运输通道处，不应使用水基或泡沫以及其他含有中子慢化能力灭火剂的移动式灭火器，除非核临界安全评价已证明其安全性。

## 5.5 人工灭火

5.5.1 人工灭火是防火纵深防御策略中的重要部分。在设计阶段就应确定厂内和厂外消防队的救援能力。厂区内火灾的位置和厂外消防队的响应时间将影响人工灭火效果。人工灭火相关指导见核动力厂运行防火安全的相关导则。

5.5.2 核动力厂设计应能允许消防队及相关重型车辆进入。

5.5.3 所有防火区应设置合适的应急照明。

5.5.4 应在选定的位置安装可靠供电的固定式有线应急通信系统。

5.5.5 应在控制室和其他选定场所设置如双向无线电装置等替代通信设备。消防队应配备便携式双向无线电通信设备。在首次装料之前，应通过试验验证这些无线电装置的频率和发送功率不会引起核动力厂保护系统和控制装置误动作。

5.5.6 应在适当的位置设置自持式呼吸装置（包括备用储气钢瓶和再充气设备），以供应急响应人员使用。

5.5.7 核动力厂设备及物品的贮存布置应尽可能便于消防通行。

5.5.8 对于包容安全重要物项的场所，应制定详细的灭火预案。

## 5.6 排烟和排热

5.6.1 为降低温度和有利于人工灭火，应通过评价确定是否需要排出烟气和热量（包括是否需要专门的排烟和排热系统）。

5.6.2 在排烟系统的设计中，应考虑以下因素：火灾荷载、烟气传播特性、能见度、毒性、消防通道、固定灭火系统的类型和放射性释放。

5.6.3 排烟和排热系统的排出能力应取决于对防火区和防火小区中假想火灾所释放烟气和热量的评价。应在以下位置设置排烟和排热措施：

- (1) 包含电缆的高火灾荷载区域;
- (2) 包含易燃液体的高火灾荷载区域;
- (3) 包含安全系统且通常有人员活动的区域 (如主控室)。

## 6 减轻火灾的二次效应

### 6.1 概述

6.1.1 火灾的二次效应是产生烟气 (可能扩散到未受初始火灾影响的其他区域)、热量和火焰。这些效应可能导致火灾进一步蔓延、设备损坏、功能失效甚至引发爆炸。灭火系统的二次效应在 3.6.2 节中给出,火灾危害性分析应评价这些效应。在评价中还应考虑由源自外部火灾和临时火灾荷载产生的二次效应。

6.1.2 减轻火灾二次效应的主要目的如下:

- (1) 将火焰、热量和烟气限制在有限空间内,将火灾蔓延和对周边的后续影响减至最小;
- (2) 为工作人员提供安全的疏散和救援路线;
- (3) 为工作人员提供通道以便人工灭火、手动启动固定灭火系统和人工操作必要的其他系统;
- (4) 控制灭火剂的扩散以防止损坏安全重要物项;
- (5) 必要时,在火灾期间或之后提供措施排出烟气和热量。

### 6.2 厂房布置

6.2.1 核动力厂厂房、设备、通风系统和固定灭火系统的布置应考虑减轻火灾后果。

6.2.2 应为消防队和现场操作人员设置具备适当保护的疏散和救援路线。这些路线上应没有可燃物料。应防止火灾和烟气从附近的防火区和防火小区传播到疏散和救援路线。详见附件 II。

### 6.3 通风系统

6.3.1 通风系统不应损害厂房分隔要求和多重安全系统的可用性。

6.3.2 为不同安全系列防火区设置的通风系统宜相互独立并完全隔离。当包含安全系统一个系列的防火区发生火灾导致其通风系统失效后,服务其冗余系列的通风系统应能够正常执行功能。通风系统处于防火区之外的部分(风管、风机房和过滤器)应具有与防火区相同的耐火极限,或由相同耐火极限的防火阀对防火区贯穿部件进行隔离。

6.3.3 如果通风系统用于多个防火区,应采取措施保持防火区之间的隔离。应在每个防火区边界上适当设置防火阀或耐火风管,以防止火灾、热量或烟气传播到其他防火区。

6.3.4 活性炭吸附器具有高火灾荷载。吸附器火灾可能导致放射性物质的释放。应采取非能动和能动的防护措施保护活性炭吸附器免受火灾危害。这些措施可包括:

- (1) 将吸附器布置在防火区内;

(2) 监测空气温度和自动隔离气流;

(3) 通过水喷淋冷却吸附器箱体外部的自动保护装置;

(4) 在吸附器箱体内部设置带人工水龙带接口的固定灭火装置。设计该系统时, 应考虑到在水流量过低时过热活性炭和水可能发生反应产生氢气, 应采用大流量供水以防止这种情况发生。

6.3.5 通风系统的过滤器被可燃物料(如油)污染时, 其失效和故障可能导致不可接受的放射性释放, 因此应采取以下预防措施:

(1) 通过适当的防火屏障将过滤器和其他设备隔离;

(2) 应采取适当措施(如上游和下游设置防火阀)保护过滤器免受火灾影响;

(3) 应在过滤器上游和下游的风管内安装火灾探测器。其中燃烧产物探测器宜设置在过滤器下游, 温度探测器宜设置在过滤器上游。

6.3.6 防火区新风口的布置应远离其他防火区的排风和排烟口, 距离设计应可以防止吸入烟气或燃烧产物, 避免安全重要物品的失效。

## 6.4 火灾与潜在放射性释放

6.4.1 在火灾危害性分析中应识别出在火灾情况下可能释放放射性物质的设备。应将该设备布置在隔离的防火区内, 并将该防火区内的固定或临时火灾荷载减至最小。

6.4.2 为满足安全要求，可能需要对包容放射性物质的防火区设置通风排烟措施。尽管通风排烟可能导致放射性物质释放到外部环境，但消防条件的改善可能防止更大量放射性物质的最终释放。以下两种情况应加以区分：

(1) 能够证明可能的放射性释放量低于可接受限值；

(2) 放射性释放量可能超过可接受限值。在这种情况下应采取关闭通风或防火阀。

在上述每种情况下，都应进行排风监测。

6.4.3 应采取设计措施保持放射性物质释放量可合理达到的尽量低。设计措施应包括监测过滤器状态等，以帮助操作人员做出操作决定。

## 6.5 电气设备的布置

多重安全系统的电缆应敷设在各自的专用保护路径中，宜设置在相互隔离的防火区内，且电缆不宜穿过安全系统的多重系列。在某些特定部位（如控制室和反应堆安全壳等）的例外情况，可使用经鉴定具有一定耐火极限的防火屏障（如电缆包覆）保护电缆，或根据火灾危害性分析采用灭火系统等适当方法。

## 6.6 火灾引起爆炸的防护

应尽可能消除在防火区内或相邻位置发生与火灾相关的二次爆炸的可能性。如果这种爆炸仍然可能发生，应评估火灾和爆炸的联合效应，并在设计中采取措施保证既不危害核安全功能，也

不危害核动力厂工作人员的安全。

## 6.7 特殊场所

6.7.1 核动力厂主控室内不同安全系统的设备可能位置相邻。应特别注意确保在控制室中所有的电气柜、房间结构、固定家具、地板和墙面涂层使用不燃或阻燃材料。执行相同安全功能的多重设备应分别设置在独立的电气柜中，且应具有该位置最大可能的实体隔离。否则，应设置防火屏障提供必要的隔离。应尽可能将控制室的火灾荷载控制在最低水平。

6.7.2 核动力厂主控室与其他可能发生火灾的场所之间应进行充分隔离。为保证主控室可居留性，应防止烟气和火灾热气流的侵入，并防止火灾和灭火系统运行引起的其他二次效应。

6.7.3 辅助控制室的防火应与主控室的相同。应特别注意对灭火系统运行产生的水淹和其他后果的防护。辅助控制室与主控室应在不同防火区内，不应与主控室共用通风系统。主控室、辅助控制室及其相关的通风系统之间的隔离应在任何假设始发事件（如火灾或爆炸）之后能够满足本导则 2.1.3 节的要求。

6.7.4 核动力厂安全壳是一个防火区，其中的安全系统多重系列的设备物项可能相邻。在该防火区内的结构材料、安全系统间的防火隔断和防火屏障应为不燃材料。安全系统的多重系列应尽可能相互远离。

6.7.5 如果反应堆冷却剂泵电机装有大量可燃润滑油，应为

其设置火灾自动报警系统、固定灭火系统（通常为手动控制）和集油系统。集油系统应能从所有潜在泄漏点和喷放点收集油和水，并将其排放到可排气的容器或其他安全场所。

6.7.6 汽轮机厂房可能包含安全重要物项，且存在大量火灾荷载，对其进行防火区划分通常较为困难。在汽轮机的润滑、冷却和液压系统中，以及发电机内的氢气环境中存在大量可燃物料。因此，除设置灭火系统之外，还应为所有包含易燃液体的设备设置足够的集油系统。应将易燃的碳氢基润滑液体的用量减至最小。如果必须使用易燃液体，应选用满足运行要求的高闪点液体。

## 7 安全分级和质量保证

### 7.1 安全分级

7.1.1 防火设施对防火安全目标的贡献取决于核动力厂的设计和布置，以及防火措施的具体方案，在设计阶段应确定防火设施的安全分级。

7.1.2 在采用火灾封锁法的场所，安全系统设备由具备抵御防火区中可燃物料完全燃烧能力的防火屏障包围。对于在火灾时失效无法执行功能会导致 2.1.1 节中目标不能满足的防火屏障，可将其确定为“安全相关物项”。

7.1.3 在采用火灾扑灭法的场所，通过材料限制、距离分隔、



防火屏障或其他就地非能动防火措施、灭火系统或这些措施的组合实现防止火灾在多重安全系列之间的蔓延。对于在火灾时失效会导致 2.1.1 节中目标不能满足的火灾自动报警系统或灭火系统，可根据核动力的设计和布置将其确定为“安全相关系统”或“安全系统”。

7.1.4 鉴于火灾对核安全的潜在后果，在消防系统和设备的设计中应对其质量保证、鉴定试验和在役试验予以特殊考虑。

## 7.2 质量保证

7.2.1 应从核动力厂设计的初始阶段开始，对消防设施实施质量保证措施，并贯穿整个设计、建造、调试、运行和退役过程。

7.2.2 质量保证大纲应保证：

(1) 设计满足所有的防火要求；

(2) 所有消防设备和材料应满足基于消防要求和图纸要求的采购技术规格书，火灾自动报警、灭火设备和部件应经鉴定适于完成预期功能，且优先选用经过验证的产品，新开发的火灾自动报警、灭火设备和部件应进行鉴定；

(3) 火灾自动报警系统和灭火系统的设备、部件和材料应按设计要求进行制造和安装，灭火系统和设备应完成所要求的运行前和启动试验程序；

(4) 在建造、调试、运行或退役期间，一旦发生影响安全重要物项的火灾，应进行评价以保证受影响物项能保持或恢复到设

计要求的能力；

(5) 发布实施防火规程，火灾自动报警和灭火的系统、设备和部件应经过测试且可运行，核动力厂工作人员对于这些系统、设备和部件的运行和使用应接受适当的培训。

7.2.3 应在书面程序中明确实施质量保证大纲的控制措施。

## 名词解释

下列术语适用于本导则，其他术语可见《规定》中的名词解释。

### 燃烧 Combustion

物质与氧气进行的放热反应，通常伴随产生火焰、和/或发光、和/或产生烟雾。

### 火灾 Fire

以发出热量为特征并伴随着烟气或火焰或两者，以不可控的形式在时间或空间上传播的燃烧过程。

### 爆炸 Explosion

导致温度或压力升高或两者同时升高的急剧氧化或分解反应。

### 防火阀 Fire Damper

在一定条件下为防止火灾通过风管蔓延而设计的自动关闭装置。

### 防火隔断 Fire Stop

用于将火灾限制在厂房建筑单元内部或建筑单元之间的实体屏障。

### 防火屏障 Fire Barrier

用于限制火灾后果的屏障，它包括墙壁、地板、天花板或者

用于封堵门洞、闸门、贯穿部件和通风系统等通道的装置。

### **防火区 Fire Compartment**

为防止火灾在规定的时间内蔓延而构筑的厂房或部分厂房，防火区可由一个或多个房间组成，其边界全部用防火屏障包围。

### **防火小区 Fire Cell**

为保护安全重要物项，设置防火设施（如限制可燃物料的数量、空间分隔、固定灭火系统、防火涂层或其他设施）以隔离火灾的区域，通过该设置使被隔离的系统不会受到显著损坏。

### **可燃物料 Combustible Material**

可以燃烧的固体、液体或气体物质。

### **非可燃物料 Non-Combustible Material**

在使用形态和预计条件下，当经火烧或受热时不会点燃、助燃、燃烧或释放易燃气体的材料。

### **火灾荷载 Fire Load**

空间内所有可燃物料（包括墙壁、隔墙、地板和天花板的面层）全部燃烧可能释放热量的总和。

### **耐火极限 Fire Resistance**

建筑结构构件、部件或构筑物在标准燃烧试验条件下保持承受所要求的荷载，保持完整性、和/或热绝缘、和/或所规定的其他预计功能的时间长度。

### **阻燃 Fire Retardant**

物体对某些物料的燃烧起到熄灭、减少或显著阻滞作用的性质。

### **误动作 Spurious Action**

未想到和未预计（错误的或无意的）的火灾自动报警系统和灭火系统的运行状态。

## 附件 I 火灾封锁法和火灾扑灭法的应用

I.1 图 I.1 显示了火灾封锁法和火灾扑灭法的应用

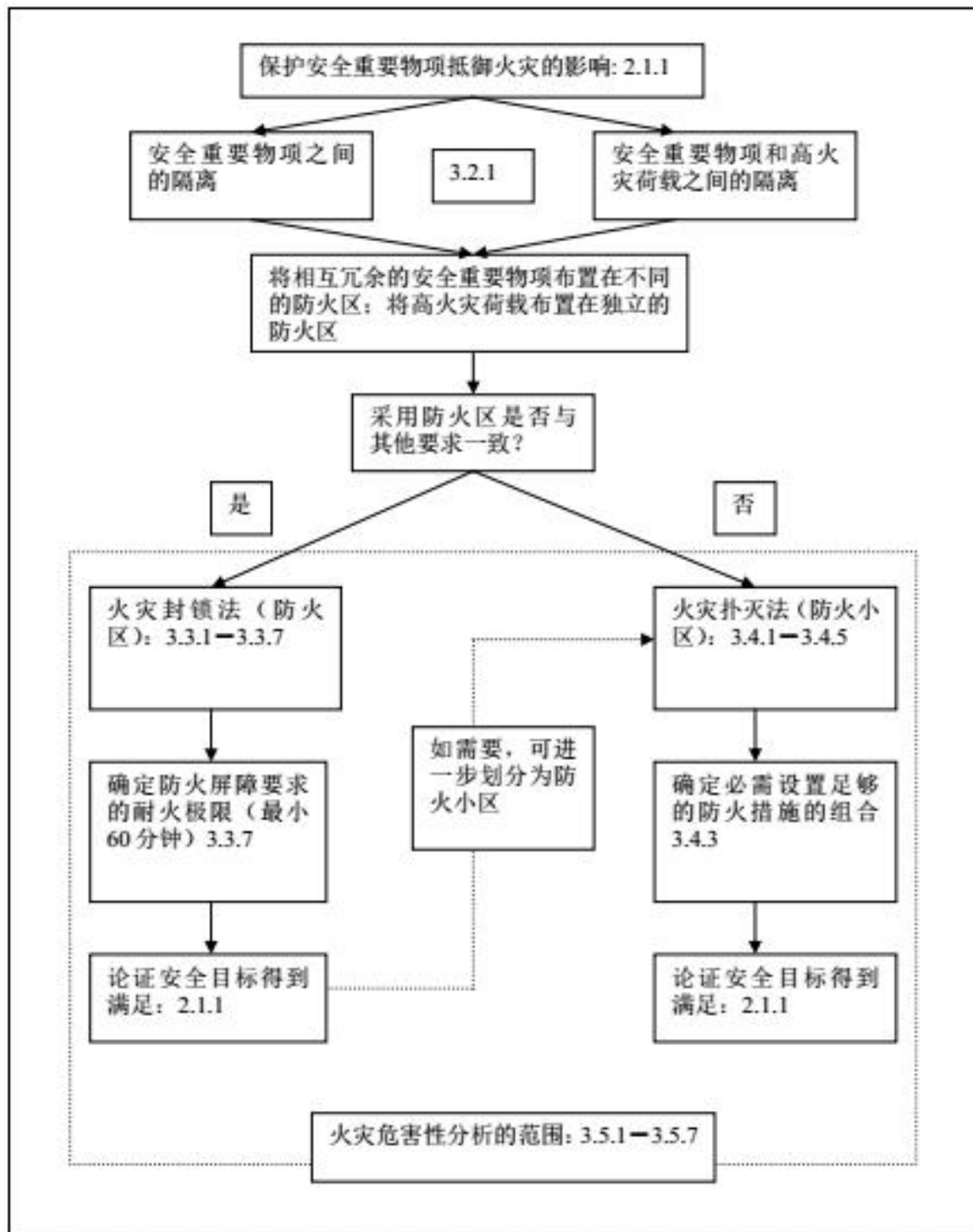


图 I.1 火灾封锁法和火灾扑灭法的应用

## 附件 II 疏散和救援路线

II.1 考虑到国家建筑规范、预防事故的消防法规和规定以及核安全方面的要求，应为工作人员设置足够的疏散和救援路线。每个厂房至少设置两条疏散路线。对于每条路线应符合以下要求：

(1) 应保护疏散和救援路线不受火灾和烟气的影响。受保护的疏散和救援路线包括从厂房通向外部出口的楼梯和通道；

(2) 疏散和救援路线上不应该存放任何物料；

(3) 应按国家法规要求在疏散和救援路线的适当部位设置灭火器；

(4) 疏散和救援路线上应当设置清晰易于辨认的永久性标识。标识应指向最近的安全通道；

(5) 在所有的楼梯间内应清楚标明楼层；

(6) 在疏散和救援路线上应设置应急照明；

(7) 在火灾危害性分析中确定的所有场所、所有疏散路线和厂房的出口处，应设置适用的报警措施（如火灾报警按钮）；

(8) 应具有通过机械系统或其他方法为疏散和救援路线提供通风的能力以防止烟气聚集，便于人员通行；

(9) 用于疏散和救援路线的楼梯间应保持没有任何可燃物料。为保持楼梯间无烟气，可能需要设置正压送风。应采取措施排除通往楼梯的走廊和房间的烟气。对于高的多层楼梯间应分段



考虑上述措施；

(10) 通往楼梯间的路线上和疏散、救援路线上应设置自闭型常闭门，且应朝疏散方向开启；

(11) 应采取措施允许从安全壳气闸门快速撤出反应堆厂房。这些措施应能应对预计在维修期间和换料大修期间停留在安全壳内最大数量工作人员的疏散；

(12) 应为所有的疏散和救援路线设置可靠的通信系统。

## 附件 III 防火屏障

III.1 核动力厂中防火屏障的总目标是为某一空间（如防火区）提供非能动边界，此屏障具备可论证的承受和包容预计火灾的能力，并且防止该火灾蔓延到防火屏障背火面的材料和物项，或不引起这些材料和物项的直接或间接损坏。在规定的长度内，防火屏障应在没有任何灭火系统动作的条件下能完成这种功能。

III.2 防火屏障耐火极限的特征是火灾条件下的稳定性、完整性和隔热性。相应的准则是：

- （1）机械承载力；
- （2）防御火焰以及热气流或易燃气体的能力；
- （3）隔热性。当背火面温度保持低于预定值（如平均温度低于  $140^{\circ}\text{C}$  和任意一点温度低于  $180^{\circ}\text{C}$ ）时，则认为满足要求。

III.3 应验证防火屏障的背火面不释放易燃气体。

III.4 根据非能动防火系统在火灾中的特定功能和可能作用，可以按三个性能准则进行分类：

（1）承载能力（稳定性）。承载部件试样支撑试验荷载的能力，变形量或变形率或两者均不超过特定准则。

（2）完整性。隔离部件试样按照特定准则包容火灾的能力，该准则是针对火灾引起的坍塌、孔洞和裂缝、以及背火面的持续火焰。

(3) 隔热性。隔离部件试样限制背火面的温升低于特定水平的能力。

III.5 在每一分类中，部件的防火等级以“耐火极限”（分钟或小时）表示，对应根据国际标准化组织（ISO）标准或其他标准的热试验程序中该部件可以持续执行其功能或起作用的时间段。

III.6 在火灾危害性分析中，应确定用作防火屏障的部件（墙、天花板、地板、门、风阀、贯穿部件封堵和电缆包裹）的特定功能（承载能力、完整性和隔热性）和耐火极限。

## 附件IV 电缆火灾的防护

### IV.1 防火措施

IV.1.1 除了用作燃料以及用作润滑和绝缘液体的液态碳氢化合物之外，大量有机绝缘电缆构成了核动力厂中重要的可燃物料来源。在火灾危害性分析中应确定电缆火灾对安全重要物项的影响。

IV.1.2 应采取多种设计方法限制电缆火灾的影响，包括：防止电路过载或短路；在电缆敷设安装中限制可燃物料的总量；降低电缆绝缘层的可燃性；设置防火措施限制火灾蔓延；在安全系统多重系列电缆之间，以及在动力电缆和控制电缆之间进行隔离。

### IV.2 电缆量的控制

IV.2.1 应控制安装在电缆桥架和电缆敷设路径上的聚合物绝缘电缆数量，防止火灾荷载超过防火区防火屏障耐火极限的包容范围，并降低火灾沿电缆桥架的传播速率。这些控制措施可能包括对电缆桥架数量和规格的限制和/或对敷设在其上的绝缘体填充量的控制，且应与所采用电缆的燃烧特性相对应。

### IV.3 燃烧试验

IV.3.1 尽管阻燃电缆鉴定试验的具体要求有所不同，但电缆的大尺度火焰传播试验通常包括火焰点燃源烧垂直电缆试件的项目。电缆火灾试验相关的重要变化因素如下：

- (1) 作为点燃源的电缆量;
- (2) 电缆布置;
- (3) 阻燃性;
- (4) 火灾蔓延的范围;
- (5) 空气流量;
- (6) 包容结构的隔热性;
- (7) 烟气的毒性和腐蚀性。

#### IV.4 电缆防火

IV.4.1 在某些情况下,电缆防火应设置特定的非能动保护措施,包括:

- (1) 降低点燃和火焰传播可能性的电缆涂层;
- (2) 与其他火灾荷载和其他系统隔离的电缆包覆;
- (3) 限制火焰传播的防火隔断。

在使用材料的选择中应考虑这些非能动措施可能导致电缆过热和许用电流的降低。

IV.4.2 经验表明用水可以迅速扑灭多数电缆火灾,因此自动水基系统(如水喷淋系统)应作为电缆火灾的主要灭火系统。成束电缆可能产生深部火灾,不易被气体灭火剂扑灭。如果采用气体系统,在设计中应考虑深部火灾的可能性。对电缆火灾通常优先选用水基灭火系统。

IV. 4. 3 在电缆高度集中需要人工消防作为固定灭火系统补充的场所，消防队员应针对所采用的技术和设备接受培训。

IV. 4. 4 在设置固定水灭火系统的场所，应屏蔽可能被水损坏的设备，或将其布置位置远离火灾危害和水。应设置排水设施排出灭火用水以确保水的聚集不会使安全重要物项失效。

IV. 4. 5 通过设置适当的隔离，采用火灾封锁法或火灾扑灭法可降低电缆火灾的潜在影响。

IV. 4. 6 在某些情况下，单独使用空间隔离（隔离空间内无可燃物）或与其他防火安全措施联合使用可以提供充分隔离，以防止多重安全重要物项因单一火灾而损坏。不可能规定一个对所有情况都能提供充分安全分隔的最小距离，应通过对具体情况详细分析确定隔离的适当性。

IV. 4. 7 应优先采用设置无贯穿部件防火屏障的方法对安全系统的多重系列进行隔离。

## 附件 V 火灾探测器

V.1 本附件针对特定应用中选用火灾探测器需考虑的因素提供进一步指导。

### V.2 火灾探测器的类型

火灾探测器的主要类型有：

(1) 感温探测器：包括 A) 用作喷水系统触发装置的易碎玻璃球和易熔联结；B) 用于电气触发探测系统的屋顶安装探测器、线型感温电缆、测温敏感元件、热电偶和电阻温度计探测器。

(2) 感烟探测器（或燃烧产物探测器）：主要有离子型和光电感烟探测器。吸气式感烟探测系统利用管道连续从不同位置将气体样品引至中央感烟探测器。

(3) 火焰探测器（红外和紫外探测器）：通常用于探测火焰。

(4) 易燃气体探测器：用于监测可能出现易燃气体与空气混合的区域或包容结构。

(5) 早期报警火灾探测器。

### V.3 探测器特性

V.3.1 感温探测器一般设置在火灾危险设备临近的上方或周围，也用于空气条件可能引起感烟探测器误报警的场所（如可能存在油烟的场所）。感温探测器也用于易燃液体温度上升到危险水平的早期报警。线型感温电缆布置在靠近危险源的位置（如电

缆桥架内), 沿电缆长度方向上任意一点达到一定温度时动作, 线型感温电缆动作可触发其周围的灭火系统。

V. 3. 2 感烟探测器通常比感温探测器更早探测到早期阶段的火情, 因此在多数场所优先采用。在具有高电离辐射水平的场合, 不应使用离子型探测器, 除非针对使用环境进行了鉴定并具有可以验证其持续灵敏度的维修大纲。感烟探测器的布置点应保证其性能不会受到通风系统的不利影响。

V. 3. 3 红外线和紫外线探测器能迅速探测火灾。它们应用于火灾可能快速发展的场所, 如柴油机房(转动机械、高热及易燃液体的组合可能导致快速发展的火灾)。选择此类探测器应注意保证其他红外或紫外线源(如热管道或阳光)不会引起误报警。

V. 3. 4 针对特定气体的易燃气体探测器应安装在正常和事故情况下可能出现易燃气体和空气混合物的场所(如室内氢气贮存区)。

V. 3. 5 基于空气取样和烟雾颗粒高灵敏度探测的探测器系统用于早期报警。某些应用光学比较方法的探测器也可比常规探测器提供更早期报警。

V. 3. 6 所有类型的探测器都可用作灭火系统的启动装置。具有高可靠性的感温探测器通常用于启动水基灭火系统。对于需要快速响应的高火灾危害区域(如易燃液体贮存区), 通常选择感烟



或光学探测器。感烟或光学探测器通常也用于启动气体灭火系统。

#### V.4 探测器类型和位置的选择

V.4.1 火灾探测器类型和布置点的选择应保证探测器按预计对火灾做出响应。影响火灾探测器对火势增长响应的因素有：

- (1) 燃烧速率；
- (2) 燃烧速率的变化率；
- (3) 燃烧物料的特性；
- (4) 天花板高度；
- (5) 探测器的布置点；
- (6) 墙的位置；
- (7) 气流障碍物的位置；
- (8) 房间的通风；
- (9) 探测器的响应特性。

V.4.2 应分析评价所选火灾探测器类型和位置的有效性。

## 附件 VI 自动水喷淋和水喷雾系统

VI.1 对于普通固体可燃物料和易燃液体火灾，一般认为水是最有效的灭火剂。已经证实水喷淋和水喷雾系统对易燃液体火灾（包括池式火灾和压力喷射火灾）的灭火是有效的。正确设计的水喷雾系统还可安全应用于带载电气火灾（如变压器）。

VI.2 水喷淋和水喷雾系统包括所有释放水以控制和扑灭火灾的消防系统，包括闭式或开式喷头系统。对于闭式喷头系统，在达到某一最低温度前，单个喷头的易熔或易碎元件可防止水喷出。对于开式喷头系统，当管道系统的阀门用手动或自动方式开启后，水将直接释放。

VI.3 细水雾系统使用超高水压和具有特殊内部设计的螺旋和涡流喷嘴，或两相喷嘴（如水和加压空气），在喷嘴喷放口处产生非常小的水滴。细水雾系统最主要的优点在于使用相对少的水量就能达到灭火的目的。由于需要较高压力，细水雾系统较为复杂。对于具体设备和设计，该系统应按照严格的预试验安排进行安装。

VI.4 所用喷头或喷嘴的类型和特性，以及系统本身的布置应针对特定危害进行选择。

VI.5 除了要考虑火灾危害性分析中确定的预计火灾以外，在设计水喷淋和水喷雾系统时应考虑多种因素，包括喷头的间距和

位置、启动装置或喷头的额定温度和热响应时间、以及灭火所需喷水流量等。

VI. 6 应当根据具体装置的喷放特性和火灾危害性分析中所确定需防护的火灾危害严重程度来确定喷头的间距。仅根据相关标准确定的喷头间距，不一定能适当防护所有的火灾危害。

VI. 7 喷头的布置位置应对火灾有最佳响应和最佳喷水分布，并将影响水分布的障碍减至最小。

VI. 8 喷水喷头的额定启动温度应适当高于正常最高环境温度。

VI. 9 在火灾危害性分析中确定需快速启动水喷淋系统的场所应采用快速响应喷头，如由火灾自动报警系统中感烟探测器联动的雨淋系统。

VI. 10 喷水流量和喷水强度是确定喷头对扑灭特定火灾是否有效的关键参数。水喷淋系统的喷水强度是喷头的孔口尺寸、消防给水系统的容量和压力、喷水系统管道尺寸和布置的函数。可以通过水力学计算确定预计的喷水强度。设计喷放强度应与预计的火灾强烈程度相匹配。

VI. 11 水喷淋系统由于真实火灾或喷头误动作引起的喷水可能导致对湿气敏感的电气系统误动作。应在火灾危害性分析中评价喷头误喷放的可能性和喷放后果。可能需要对安全重要系统的

敏感部件设置防水侵入的特殊遮蔽。

VI.12 在使用水基灭火系统的场所，应当采取措施控制可能受污染的水，应设置数量充分布置适当的疏水设施以防止放射性物质向环境的任何不可控释放。

VI.13 为了快速响应火灾，水喷淋系统应优先采用自动启动。只有在火灾危害性分析中明确论证在火灾紧急情况下水喷淋系统的延迟运行不会损害核动力厂安全的场所，才可使用手动操作的水喷淋系统。

## 附件VII 气体灭火系统

VII. 1 气体灭火剂灭火后不会留下任何残余物,通常被称为清洁灭火剂。气体灭火剂不导电,其综合特性适合于保护电气设备。清洁灭火剂系统的不足在于灭火时需要维持一定的灭火剂浓度、系统复杂、不能提供冷却以及一次性使用属性等。

VII. 2 使用气体灭火剂通常有两种方法提供保护:(1)局部应用,灭火剂朝火灾或设备的特定部件喷放;(2)整体淹没,灭火剂喷入一个防火区或一个封闭的设备(如开关柜)。有些灭火剂不适合局部应用。

VII. 3 气体灭火剂的总量应足够灭火。除卤素灭火剂外的气体灭火剂通常是通过稀释氧气达到灭火目的。在确定所需的灭火剂用量时,应考虑包容结构的泄漏量、对于特定火灾所需的灭火剂浓度、灭火剂流量和设计浓度需维持的时间。

VII. 4 应评价受保护包容结构因气体灭火剂喷放导致压力上升的结构效应,必要处应设置安全排气。在排气布置中应注意不要将超压或环境条件转移到缓解区域。

VII. 5 应考虑气体灭火系统直接喷放到设备上造成热冲击而带来损坏的可能性。这可能在电气柜的局部手动操作和自动喷放期间产生。

VII. 6 卤代烃灭火剂通过抑制化学反应进行灭火。这类灭火剂

在灭火之前或灭火期间蒸发气化，不会留下任何残余微粒。某些卤代烃灭火剂（如哈龙）由于会释放对地球臭氧层有破坏作用的挥发性溴而应禁止使用。

VII. 7 气体灭火剂的整体淹没方法要求灭火剂气体快速和均匀分布至整个淹没空间。这通常通过使用特殊喷嘴和适当的系统设计在启动后的 10 ~ 30 秒内实现。当气体灭火剂比空气重时，为了尽量减少空间内的气体分层和灭火剂气体可能的更快泄漏，灭火剂气体的快速分配是特别重要的。

VII. 8 对于气体灭火系统，应在调试中通过实际喷放试验或使用等效方法来实施运行试验。