

# 国际原子能机构安全标准

保护人类与环境

## 核电厂设计中的内部 危害防护

特定安全导则

第 SSG-64号



**IAEA**

国际原子能机构

# 国际原子能机构安全标准和相关出版物

## 国际原子能机构安全标准

根据《国际原子能机构规约》第三条的规定，国际原子能机构受权制定或采取旨在保护健康及尽量减少对生命与财产之危险的安全标准，并规定适用这些标准。

国际原子能机构借以制定标准的出版物以国际原子能机构《安全标准丛书》的形式印发。该丛书涵盖核安全、辐射安全、运输安全和废物安全。该丛书出版物的分类是安全基本法则、安全要求和安全导则。

有关国际原子能机构安全标准计划的资料可访问以下国际原子能机构因特网网站：

[www.iaea.org/zh/shu-ju-ku/an-quan-biao-zhun](http://www.iaea.org/zh/shu-ju-ku/an-quan-biao-zhun)

该网站提供已出版安全标准和安全标准草案的英文文本。以阿拉伯文、中文、法文、俄文和西班牙文印发的安全标准文本；国际原子能机构安全术语以及正在制订中的安全标准状况报告也在该网站提供使用。欲求进一步的信息，请与国际原子能机构联系（Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria）。

敬请国际原子能机构安全标准的所有用户将使用这些安全标准的经验（例如作为国家监管、安全评审和培训班课程的依据）通知国际原子能机构，以确保这些安全标准继续满足用户需求。资料可以通过国际原子能机构因特网网站提供或按上述地址邮寄或通过电子邮件发至 [Official.Mail@iaea.org](mailto:Official.Mail@iaea.org)。

## 相关出版物

国际原子能机构规定适用这些标准，并按照《国际原子能机构规约》第三条和第八条 C 款之规定，提供和促进有关和平核活动的信息交流并为此目的充任成员国的居间人。

核活动的安全报告以《安全报告》的形式印发，《安全报告》提供能够用以支持安全标准的实例和详细方法。

国际原子能机构其他安全相关出版物以《应急准备和响应》出版物、《放射学评定报告》、国际核安全组的《核安全组报告》、《技术报告》和《技术文件》的形式印发。国际原子能机构还印发放射性事故报告、培训手册和实用手册以及其他特别安全相关出版物。

安保相关出版物以国际原子能机构《核安保丛书》的形式印发。

国际原子能机构《核能丛书》由旨在鼓励和援助和平利用原子能的研究、发展和实际应用的资料性出版物组成。它包括关于核电、核燃料循环、放射性废物管理和退役领域技术状况和进展以及经验、良好实践和实例的报告和导则。

# 核电厂设计中的内部危害防护

## 国际原子能机构成员国

阿富汗	格鲁吉亚	挪威
阿尔巴尼亚	德国	阿曼
阿尔及利亚	加纳	巴基斯坦
安哥拉	希腊	帕劳
安提瓜和巴布达	格林纳达	巴拿马
阿根廷	危地马拉	巴布亚新几内亚
亚美尼亚	几内亚	巴拉圭
澳大利亚	圭亚那	秘鲁
奥地利	海地	菲律宾
阿塞拜疆	教廷	波兰
巴哈马	洪都拉斯	葡萄牙
巴林	匈牙利	卡塔尔
孟加拉国	冰岛	摩尔多瓦共和国
巴巴多斯	印度	罗马尼亚
白俄罗斯	印度尼西亚	俄罗斯联邦
比利时	伊朗伊斯兰共和国	卢旺达
伯利兹	伊拉克	圣基茨和尼维斯
贝宁	爱尔兰	圣卢西亚
多民族玻利维亚国	以色列	圣文森特和格林纳丁斯
波斯尼亚和黑塞哥维那	意大利	萨摩亚
博茨瓦纳	牙买加	圣马力诺
巴西	日本	沙特阿拉伯
文莱达鲁萨兰国	约旦	塞内加尔
保加利亚	哈萨克斯坦	塞尔维亚
布基纳法索	肯尼亚	塞舌尔
布隆迪	大韩民国	塞拉利昂
佛得角	科威特	新加坡
柬埔寨	吉尔吉斯斯坦	斯洛伐克
喀麦隆	老挝人民民主共和国	斯洛文尼亚
加拿大	拉脱维亚	南非
中非共和国	黎巴嫩	西班牙
乍得	莱索托	斯里兰卡
智利	利比里亚	苏丹
中国	利比亚	瑞典
哥伦比亚	列支敦士登	瑞士
科摩罗	立陶宛	阿拉伯叙利亚共和国
刚果	卢森堡	塔吉克斯坦
哥斯达黎加	马达加斯加	泰国
科特迪瓦	马拉维	多哥
克罗地亚	马来西亚	汤加
古巴	马里	特立尼达和多巴哥
塞浦路斯	马耳他	突尼斯
捷克共和国	马绍尔群岛	土耳其
刚果民主共和国	毛里塔尼亚	土库曼斯坦
丹麦	毛里求斯	乌干达
吉布提	墨西哥	乌克兰
多米尼克	摩纳哥	阿拉伯联合酋长国
多米尼加共和国	蒙古	大不列颠及北爱尔兰联合王国
厄瓜多尔	黑山	坦桑尼亚联合共和国
埃及	摩洛哥	美利坚合众国
萨尔瓦多	莫桑比克	乌拉圭
厄立特里亚	缅甸	乌兹别克斯坦
爱沙尼亚	纳米比亚	瓦努阿图
科威特	尼泊尔	委内瑞拉玻利瓦尔共和国
埃塞俄比亚	荷兰王国	越南
斐济	新西兰	也门
芬兰	尼加拉瓜	赞比亚
法国	尼日尔	津巴布韦
加蓬	尼日利亚	
冈比亚	北马其顿	

国际原子能机构的《规约》于1956年10月23日经在纽约联合国总部举行的原子能机构《规约》会议核准，并于1957年7月29日生效。原子能机构总部设在维也纳，其主要目标是“加速和扩大原子能对全世界和平、健康及繁荣的贡献”。

国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-64 号

# 核电厂设计中的内部危害防护

特定安全导则

国际原子能机构  
2024 年·维也纳

## 版权说明

国际原子能机构的所有科学和技术出版物均受 1952 年（日内瓦）通过并于 1971 年（巴黎）修订的《世界版权公约》之条款的保护。自那时以来，世界知识产权组织（日内瓦）已将版权的范围扩大到包括电子形式和虚拟形式的知识产权。可以获得许可使用国际原子能机构印刷形式或电子形式出版物中所载全部或部分內容。请见 [www.iaea.org/publications/rights-and-permissions](http://www.iaea.org/publications/rights-and-permissions) 了解详情。垂询可致函：

Publishing Section

International Atomic Energy Agency

Vienna International Centre

PO Box 100

1400 Vienna, Austria

电话：+43 1 2600 22529 或 22530

电子信箱：sales.publications@iaea.org

网址：<https://www.iaea.org/zh/chu-ban-wu>

© 国际原子能机构，2024 年  
国际原子能机构印刷  
2024 年 7 月·奥地利

## 核电厂设计中的内部危害防护

国际原子能机构，奥地利，2024 年 7 月

STI/PUB/1947

ISBN 978-92-0-525323-7（简装书：碱性纸）

978-92-0-525123-3（pdf 格式）

EPUB 978-92-0-525223-0

ISSN 1020-5853

# 前 言

## 拉斐尔·马利亚诺·格罗西总干事

国际原子能机构（原子能机构）《规约》授权原子能机构“制定……旨在保护健康及尽量减少对生命与财产的危險的安全标准”。这些是原子能机构必须适用于其自身业务而且各国可以通过其国家法规来适用的标准。

原子能机构于 1958 年开始实施其安全标准计划，此后有了许多发展。作为总干事，我致力于确保原子能机构维护和改进这套具有综合性、全面性和一致性的、与时俱进的、用户友好的和适合目的的高质量安全标准。在利用核科学和技术的过程中正确地适用这些标准将为全世界的人和 environment 提供高水平的保护，并为持续利用核技术造福于所有人提供必要的信心。

安全是得到许多国际公约支持的一项国家责任。原子能机构的安全标准奠定了这些法律文书的基础，而且是有助于各方履行各自义务的全球基准。虽然安全标准对成员国没有法律约束力，但它们被广泛适用。对已在国家法规中采用这些标准以加强核能发电、研究堆和燃料循环设施中以及医学、工业、农业和研究领域核应用中的安全的绝大多数成员国而言，它们已成为不可或缺的基准点和共同标准。

原子能机构的安全标准以原子能机构成员国的实际经验为基础，并通过国际协商一致产生。各安全标准分委员会、核安保导则委员会和安全标准委员会成员的参与尤其重要，我向所有为这项工作贡献自己的知识和专长的人表示感谢。

原子能机构在通过评审工作组访问和咨询服务向成员国提供援助时，也使用这些安全标准。这有助于成员国适用这些标准，并使得能够共享宝贵经验和真知灼见。在安全标准的定期修订过程中，会考虑到这些工作组访问和服务的反馈，以及从使用和适用安全标准的事件和经历中汲取的教训。

我相信，原子能机构安全标准及其适用将为确保在使用核技术时实现高水平安全作出宝贵的贡献。我鼓励所有成员国宣传和适用这些安全标准，并与原子能机构合作，在现在和将来维护其质量。



# 国际原子能机构安全标准

## 背景

放射性是一种自然现象，因而天然辐射源的存在是环境的特征。辐射和放射性物质具有许多有益的用途，从发电到医学、工业和农业应用不一而足。必须就这些应用可能对工作人员、公众和环境造成的辐射危险进行评定，并在必要时加以控制。

因此，辐射的医学应用、核装置的运行、放射性物质的生产、运输和使用以及放射性废物的管理等活动都必须服从安全标准的约束。

对安全实施监管是国家的一项责任。然而，辐射危险有可能超越国界，因此，国际合作的目的就是通过交流经验和提高控制危险、预防事故、应对紧急情况和减缓任何有害后果的能力来促进和加强全球安全。

各国负有勤勉管理义务和谨慎行事责任，而且理应履行其各自的国家和国际承诺与义务。

国际安全标准为各国履行一般国际法原则规定的义务例如与环境保护有关的义务提供支持。国际安全标准还促进和确保对安全建立信心，并为国际商业与贸易提供便利。

全球核安全制度已经建立，并且正在不断地加以改进。对实施有约束力的国际文书和国家安全基础结构提供支撑的原子能机构安全标准是这一全球性制度的一座基石。原子能机构安全标准是缔约国根据这些国际公约评价各缔约国履约情况的一个有用工具。

## 原子能机构安全标准

原子能机构安全标准的地位源于原子能机构《规约》，其中授权原子能机构与联合国主管机关及有关专门机构协商并在适当领域与之合作，以制定或采取旨在保护健康及尽量减少对生命与财产之危险的安全标准，并对其适用作出规定。

为了确保保护人类和环境免受电离辐射的有害影响，原子能机构安全标准制定了基本安全原则、安全要求和安全措施，以控制对人类的辐射照射和放射性物质向环境的释放，限制可能导致核反应堆堆芯、核链式反应、辐射源或任何其他辐射源失控的事件发生的可能性，并在发生这类事件时减轻其后果。这些标准适用于引起辐射危险的设施和活动，其中包括核装置、辐射和辐射源利用、放射性物质运输和放射性废物管理。

安全措施和安保措施<sup>1</sup>具有保护生命和健康以及保护环境的目的。安全措施和安保措施的制订和执行必须统筹兼顾，以便安保措施不损害安全，以及安全措施不损害安保。

原子能机构安全标准反映了有关保护人类和环境免受电离辐射有害影响的高水平安全在构成要素方面的国际共识。这些安全标准以原子能机构《安全标准丛书》的形式印发，该丛书分以下三类（见图1）。



图1. 国际原子能机构《安全标准丛书》的长期结构。

<sup>1</sup> 另见以原子能机构《核安保丛书》印发的出版物。

## 安全基本法则

“安全基本法则”阐述防护和安全的基本安全目标和原则，以及为安全要求提供依据。

## 安全要求

一套统筹兼顾和协调一致的“安全要求”确定为确保现在和将来保护人类与环境所必须满足的各项要求。这些要求遵循“安全基本法则”提出的目标和原则。如果不能满足这些要求，则必须采取措施以达到或恢复所要求的安全水平。这些要求的格式和类型便于其用于以协调一致的方式制定国家监管框架。这些要求包括带编号的“总体”要求用“必须”来表述。许多要求并不针对某一特定方，暗示的是相关各方负责履行这些要求。

## 安全导则

“安全导则”就如何遵守安全要求提出建议和指导性意见，并表明需要采取建议的措施（或等效的可替代措施）的国际共识。“安全导则”介绍国际良好实践并且不断反映最佳实践，以帮助用户努力实现高水平安全。“安全导则”中的建议用“应当”来表述。

## 原子能机构安全标准的适用

原子能机构成员国中安全标准的使用者是监管机构和其他相关国家当局。共同发起组织及设计、建造和运行核设施的许多组织以及涉及利用辐射源和放射源的组织也使用原子能机构安全标准。

原子能机构安全标准在相关情况下适用于为和平目的利用的一切现有和新的设施和活动的整个寿期，并适用于为减轻现有辐射危险而采取的防护行动。各国可以将这些安全标准作为制订有关设施和活动的国家法规的参考。

原子能机构《规约》规定这些安全标准在原子能机构实施本身的工作方面对其有约束力，并且在实施由原子能机构援助的工作方面对国家也具有约束力。

原子能机构安全标准还是原子能机构安全评审服务的依据，原子能机构利用这些标准支持开展能力建设，包括编写教程和开设培训班。

国际公约中载有与原子能机构安全标准中所载相类似的要求，从而使其对缔约国有约束力。由国际公约、行业标准和详细的国家要求作为补充的原子能机构安全标准为保护人类和环境奠定了一致的基础。还会出现一些需要在国家一级加以评定的特殊安全问题。例如，有许多原子能机构安全标准特别是那些涉及规划或设计中的安全问题的标准意在主要适用于新设施和新活动。原子能机构安全标准中所规定的要求在一些按照早期标准建造的现有设施中可能没有得到充分满足。对这类设施如何适用安全标准应由各国自己作出决定。

原子能机构安全标准所依据的科学考虑因素为有关安全的决策提供了客观依据，但决策者还须做出明智的判断，并确定如何才能最好地权衡一项行动或活动所带来的好处与其所产生的相关辐射危险和任何其他不利影响。

## 原子能机构安全标准的制定过程

编写和审查安全标准的工作涉及原子能机构秘书处及分别负责应急准备和响应（应急准备和响应标准委员会）、核安全（核安全标准委员会）、辐射安全（辐射安全标准委员会）、放射性废物安全（废物安全标准委员会）和放射性物质安全运输（运输安全标准委员会）的五个安全标准分委员会以及一个负责监督原子能机构安全标准计划的安全标准委员会（安全标准委员会）（见图2）。

原子能机构所有成员国均可指定专家参加安全标准分委员会的工作，并可就标准草案提出意见。安全标准委员会的成员由总干事任命，并包括负责制订国家标准的政府高级官员。

已经为原子能机构安全标准的规划、制订、审查、修订和最终确立过程确定了一套管理系统。该系统阐明了原子能机构的任务；今后适用安全标准、政策和战略的思路以及相应的职责。

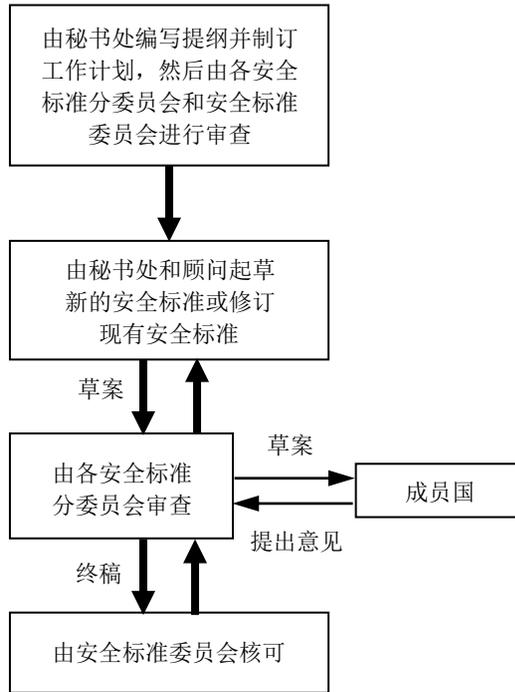


图 2. 制订新安全标准或修订现行标准的过程。

## 与其他国际组织的合作关系

在制定原子能机构安全标准的过程中考虑了联合国原子辐射效应科学委员会的结论和国际专家机构特别是国际放射防护委员会的建议。一些标准的制定是在联合国系统的其他机构或其他专门机构的合作下进行的，这些机构包括联合国粮食及农业组织、联合国环境规划署、国际劳工组织、经合组织核能机构、泛美卫生组织和世界卫生组织。

## 文本的解释

安全和核安保相关术语应理解为《国际原子能机构核安全和核安保术语》（见 <https://www.iaea.org/resources/publications/iaea-nuclear-safety-and-security-glossary>）中的术语。就“安全导则”而言，英文文本系权威性文本。

原子能机构《安全标准丛书》中每一标准的背景和范畴及其目的、范围和结构均在每一出版物第一章“导言”中加以说明。

在正文中没有适当位置的资料（例如对正文起辅助作用或独立于正文的资料；为支持正文中的陈述而列入的资料；或叙述计算方法、程序或限值和条件的资料）以附录或附件的形式列出。

如列有附录，该附录被视为安全标准的一个不可分割的组成部分。附录中所列资料具有与正文相同的地位，而且原子能机构承认其作者身份。正文中如列有附件和脚注，这些附件和脚注则被用来提供实例或补充资料或解释。附件和脚注不是正文不可分割的组成部分。原子能机构发表的附件资料并不一定以作者身份印发；列于其他作者名下的资料可以安全标准附件的形式列出。必要时将摘录和改编附件中所列外来资料，以使其更具通用性。

# 目 录

<b>1. 导言</b> .....	<b>1</b>
背景 (1.1, 1.2).....	1
目的 (1.3).....	1
范围 (1.4-1.7).....	1
结构 (1.8).....	2
<b>2. 总则 (2.1-2.13)</b> .....	<b>2</b>
<b>3. 内部危害防护的一般设计建议 (3.1-3.5)</b> .....	<b>4</b>
内部危害和危害组合的识别和表征 (3.6-3.10).....	5
内部危害及其效应的预防 (3.11, 3.12).....	6
缓解内部危害的影响 (3.13-3.21).....	7
评定、核实和成功标准 (3.22-3.31).....	8
内部危害防护设计的特定方面 (3.32-3.34).....	9
<b>4. 关于特定内部危害的建议</b> .....	<b>10</b>
内部火灾 (4.1-4.59).....	10
内部爆炸 (4.60-4.77).....	20
内部飞射物 (4.78-4.109).....	22
管道破裂 (管道甩击、射流效应和水淹) (4.110-4.144).....	29
内部水淹危害 (4.145-4.172).....	35
重物坠落 (4.173-4.186).....	39
电磁干扰 (4.187-4.200).....	42
电厂内有害物质的排放 (4.201-4.216).....	45
<b>附录 I 危害组合</b> .....	<b>49</b>
<b>附录 II 内部火灾的详细导则</b> .....	<b>52</b>
<b>参考文献</b> .....	<b>71</b>
<b>参与起草和审订人员</b> .....	<b>75</b>



# 1. 引言

## 背景

1.1. 本“安全导则”就如何满足原子能机构《安全标准丛书》第 SSR-2/1 (Rev.1) 号《核电厂安全：设计》[1]，关于在陆基固定式水冷反应堆核电厂设计时防止内部危害的要求提出了建议。

1.2. 本“安全导则”是对原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-1.11 号《核电厂设计中除火灾和爆炸外的内部危害防护》<sup>1</sup> 和原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-1.7 号《核电厂设计中的内部火灾和爆炸防护》<sup>2</sup> 的修订和合并，这两个标准都被本“安全导则”所取代。本修订主要包括更新技术内容，使其符合 SSR-2/1 (Rev.1) [1]规定的要求。此外，由于电磁场或电磁干扰引起的内部危害，以及由于源自场址边界内的有害物质排放引起的内部危害也包括在本“安全导则”范围内。

## 目的

1.3. 为满足 SSR-2/1 (Rev.1) [1]规定的要求，本“安全导则”向监管机构、核电厂设计人员和许可证持有人提供了关于危害评定（包括危害的组合）以及防止核电厂内部危害设计概念的建议。

## 范围

1.4. 本“安全导则”主要适用于陆基固定式水冷反应堆核电厂，或其他热力生产系统（如集中供热或海水淡化）。对于系统的未来创新发展，如电厂改造或其他反应堆类型，本“安全导则”的某些部分可能不完全适用，或者在解释时可能需要一些判断。

---

<sup>1</sup> 国际原子能机构《核电厂设计中除火灾和爆炸外的内部危害防护》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-1.11 号，国际原子能机构，维也纳（2004 年）。

<sup>2</sup> 国际原子能机构《核电厂设计中的内部火灾和爆炸防护》国际原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-1.7 号，国际原子能机构，维也纳（2004 年）。

1.5. 本“安全导则”涵盖了在所有运行模式下，对核电厂安全重要相关物项（如结构、系统和部件）进行保护，使其免受内部危害影响所必需的设计特点。本“安全导则”评审了以下内部危害：火灾、爆炸、飞射物、管道破裂、水淹、构筑物倒塌和高空坠物（重点是重物坠落）、电磁干扰和场址边界内有害物质的排放。

1.6. 本“安全导则”不包括常规工业安全，除非其可能影响核电厂的安全。

1.7. 本“安全导则”提供的建议主要针对新的核电厂。对于采用早期标准设计的电厂，预计在对此类设计进行安全评定时，将与现行设计标准进行比较（例如作为电厂定期安全评定的一部分），以确定是否可以通过正当可行的安全改进措施进一步提高电厂的安全运行（见 SSR-2/1（Rev.1）[1]第 1.3 段）。

## 结构

1.8. 第 2 部分概述了防止核电厂内部危害的总则；第 3 部分提供了防止核电厂内部危害的一般设计建议；第 4 部分就火灾、爆炸、飞射物、管道破裂、水淹、构筑物倒塌和高空坠物（重点是重物坠落）、电磁干扰和场址边界内有害物质排放等防护提出了特定建议。附录 I 提供了处理危害组合的导则；附录 II 提供了关于内部火灾防护的详细导则。

## 2. 总则

2.1. SSR-2/1（Rev.1）[1]要求 17 规定：

**“应识别所有可预见的内部危害和外部危害，包括可能直接或间接影响核电厂安全的人为事件，并对其效应进行评定。在电厂总平面设计、假想始发事件确定、以及电厂安全重要物项相关负载确定时应考虑上述危害。”**

2.2. SSR-2/1（Rev.1）[1]第 5.16 段指出：

“设计应适当考虑内部危害，例如火灾、爆炸、水淹、飞射物、构筑物倒塌和高空坠物、管道甩击、射流撞击、以及来自故障系统或现场其

他设施的流体排放。应提供适当的预防和缓解设施以确保安全不受破坏。”

2.3. 本“安全导则”第3部分和第4部分分别提供了一般设计建议和特定设计建议，以满足 SSR-2/1 (Rev.1) [1]第5.16段要求17，即关于内部危害规定的要求。

2.4. 一个安全重要物项一定是某个更大安全组成的一部分，和/或其故障或失效可能导致现场工作人员或公众受到辐射照射的物项[2]。根据这一定义和 SSR-2/1 (Rev.1) [1]设计扩展工况定义，设计扩展工况的安全设施一定是安全重要物项。因此，需要针对适用的内部危害设计或保护设计扩展工况的安全设施。此外，设计扩展工况的安全设施也可能是需要考虑内部危害的来源。

2.5. 内部危害是指那些来自核电厂场址边界内的对核电厂安全的危害，这些危害与营运组织控制下的活动和设施故障相关。本“安全导则”涉及的内部危害都列于第1.5段。

2.6. 在同一场址内，其他设施引起（或发生）的危害也被认为是内部危害。

2.7. 内部危害也可能是由外部危害产生的（例如，地震导致的内部水淹、火灾等）。

2.8. 内部危害引起的破坏作用也可能导致级联效应，并引发其他内部危害（例如，飞射物可能导致管道破裂，然后导致内部水淹）。

2.9. 所有可信的危害组合（见附录I）也被考虑在本“安全导则”的范围内。

2.10. 内部危害有可能导致始发事件，造成缓解此类事件后果所必需的设备故障，并（直接或间接）对防止放射性物质排放的屏障构成不利影响。由于内部危害特殊的属性，可能对多个层次的纵深防御同时造成威胁，例如，它可能增加了始发事件来源与缓解设备故障之间的依赖程度。

2.11. 虽然防止内部危害触发预计运行事件也许是不现实的或不可能的，但核电厂总平面布置和设计的目标之一，就是在可行的范围内确保内部危害不会导致事故。

2.12. 在核电厂设计中考虑内部危害的目的是确保基本安全功能（见 SSR-2/1 (Rev.1) [1]要求 4),在任何电厂状态下都能实现,并且在任何可信的内部危害发生后电厂能够进入并保持在安全状态。这意味着以下几点:

- (a) 冗余系统被尽可能隔离或充分隔离,并在必要时加以保护以防止系统所执行安全功能的丧失;
- (b) 个别结构、系统和部件的设计应尽量避免因内部危害而可能导致的设计基准事故或设计扩展工况;
- (c) 所实施的隔离、间隔和防护措施足以确保在假想始发事件表征的系统响应不因内部危害的效应而受到减弱;
- (d) 设计的原则是内部危害不应导致为控制设计基准事故而设计的冗余安全系统之间的共因故障,也不应导致在设计扩展工况下为防止发生堆芯熔化,所需的安全设施和安全系统之间的共因故障;
- (e) 在电厂其他地方发生的内部危害不应影响主控制室的可居住性。如果主控制室不适合居住,则确保辅助控制室的进入和可居住性。此外,在必要时,电厂工作人员可以接近设备以执行就地操作。

2.13. 根据纵深防御的原则,通常,第一级纵深防御通过提高结构、系统和部件的质量和可靠性,以及这些结构、系统和部件的环境鉴定,利用冗余和多样性原理进行系统隔离和实物分隔,或设计适当的实物屏障和其他防护手段,为内部危害提供一般意义上的保护。因此,针对内部危害效应的设计是一个迭代过程,整合了针对几种内部危害的防护需求。为了尽早发现内部危害的发生(或检测可能导致内部危害发生的迹象),应对结构、系统和部件进行适当的监视和在役检查,并应实施必要的纠正措施以确保对危害的防护。所以,在设计初始阶段,危害来源的识别常被用作确定和消除危害来源的实用方法。

### 3. 内部危害防护的一般设计建议

3.1. 尽管采取了各种措施以减小内部危害的可能性,但这种危害依然可能会发生。核电厂承受内部危害并缓解由这些危害引发假想始发事件效应的能力,必须是核电厂整体设计的一部分(见 SSR-2/1 (Rev.1) [1]第 5.16 段)。

3.2. 为保护安全重要物项以及在适用情况下为保护因防止内部危害而采取的行动电厂工作人员，本“安全导则”建议应按以下主要步骤进行内部危害防护设计：

- (a) 确定内部危害和危害的可信组合，并表征危害的作用效应；
- (b) 进行设计以预防内部危害或阻止内部危害的不利影响；
- (c) 为缓解内部危害对安全重要物项的不利影响，进行方法和手段的设计。

同时，设计方法还应包括根据第 2.12 段的设计目标对内部危害的防护进行评定，并核实这些目标是否满足电厂中所有可信的危害。

3.3. 内部危害防护设计应综合考虑核安全设计建议和核安保设计建议，使安全措施和安保措施互不损害。关于核安保的建议见参考文献[3]。

3.4. 某些假想的内部危害规模可能如此之大，以至于设计用于缓解这些危害效应的设计其实是不现实的（例如反应堆容器封头不受控制的坠落）。在这种情况下，重点是预防并应进行评价，以确保对极不可能发生这种事件具有高置信度。即使不能完全预防这类事件，仍需采取设计措施在切实可行的范围内缓解这类事件的后果（见 SSR-2/1 (Rev.1) [1]第 2.8 段）。

3.5. 为了保护安全重要物项，核电厂应该具有持续改善早期发现和有效控制内部危害的能力。

## 内部危害和危害组合的识别和表征

3.6. 在电厂设计中，应结合工程判断、运行经验和类似电厂设计的教训，以及确定性安全评定和概率安全评定的结果来识别内部危害。内部危害的识别和表征应包括考虑初始工况（例如，电厂关闭模式）、危害的规模和走向、危害来源的位置、产生时的环境条件以及安全重要结构、系统和部件，或其他由于故障可能导致假想始发事件发生的结构、系统和部件。危害识别和表征过程应该是严格的，有良好的文件记录有电厂现场核实的支持。

3.7. 在电厂设计中必须考虑所有可能的内部—内部和内部—外部危害组合及其所有后续影响（如高能管道破裂、甩击、射流效应、水淹效应）（见

SSR-2/1 (Rev.1) [1]第 5.32 段)。所考虑危害组合的量将取决于场址特征和总体的电厂设计。<sup>3</sup>

3.8. 应在设计中考虑所有可信的危害组合。任何组合的筛选都应该有正当性（见附录 I）。

3.9. 危害的识别包括对其特征的假设。为了固化其不确定性，可以对这些危害的特征做出包络或保守的假设，只要这些假设是正当的。

3.10. SSR-2/1 (Rev.1) [1]第 5.15A 段指出：

“安全重要物项在功能设计和布置时，应适当考虑其他因素安全的影响，根据其安全的重要性对其加以保护，或使其能够承受危害的效应，防止其受到破坏，以及由危害引起的共因故障。”

必须查明相关的内部危害，并要求在电厂的设计和布置中评价和考虑这些危害造成的影响和环境状态（见 SSR-2/1 (Rev.1) [1]要求 17。第 3.11—3.34 段对此作了考虑，并酌情适用于各种危害组合造成的内部危害。

## 内部危害及其效应的预防

3.11. 有些危害可以被筛选过滤掉，因为它们在实物上是不可能的（例如，没有起重设备，就不会发生重物坠落），或者有严格的正当性，至少包括非常高质量的设计、制造、建造、在役检查和适当考虑运行经验的反馈等等。

3.12. 当不能将危害筛选排除掉时应采取各种措施，包括管理措施以减少危害发生的频率和潜在规模，以及它们安全重要结构、系统和部件的影响。这主要应通过尽可能减少潜在的危害来源（例如，限制使用可燃材料和防止火源的发生）来实现，并辅之以监视和在役检查。也可以通过布置和布局来实现（例如确保快速旋转机器的最佳位置）。

---

<sup>3</sup> 例如，某些危害组合可能涉及在某些场址不太可能发生的外部事件（例如沙尘暴、暴风雪）。因此，规定一套适用于所有场址的综合危害是没有必要的，甚至是不可行的。

## 缓解内部危害的影响

3.13. 对于设计中考虑的每一种内部危害，应采取措施来控制和限制其后果。这些措施取决于危害的类型和设计中的特定技术解决办法。一般说来，还应包括检测各种危害发生的特定措施。

3.14. 保护免受内部危害影响的各种设计条目必须进行安全分级：见 SSR-2/1 (Rev.1) [1]要求 22。这种安全分级应根据原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-30 号《核电厂结构、系统和部件的安全分级》[4]建议进行。防护设计特定必须根据其功能和安全性进行分级（见 SSR-2/1 (Rev.1) [1]第 5.34 段）。

3.15. 缓解事件后果的措施可以是非能动的、能动的或程序性的。非能动设计解决方案一无需移动部件或外部能源供应—通常被认为比能动措施或程序的实施更加可取。

3.16. 对于能动有源保护功能，应在适用的情况下假想最坏的单一故障。

3.17. 只要证明其故障的可能性很小，而且其功能不会受到假想危害的影响，无源保护设备故障的考虑是不必要的（见 SSR-2/1 (Rev.1) [1]第 5.40 段）。

3.18. 如果可行，及早发现内部危害的发生并辅之以针对发现危害采取的适当行动，将有助于缓解可能的后果。

3.19. 在适当的条件下缓解内部危害影响的措施应包括冗余、多样性和实物分隔，包括隔离冗余通道。隔离的概念适用于以下层面：

- (a) 设备布局：例如，将应急柴油发电机彼此分开；
- (b) 厂房布局：例如，通过设备的正确方向来缓解飞射物危害的影响；
- (c) 空间和隔间：例如，把它们分成防火隔间或独立单元房；
- (d) 结构、系统和部件：例如，将不同安全通道的电缆彼此分开。

3.20. 保护安全重要结构、系统和部件免受内部危害影响的布置和设计规定应符合第 2.12 段的设计目标。

3.21. 探测内部危害和缓解其后果手段的可靠性应与其提供纵深防御的作用相一致。

## 评定、核实和成功标准

3.22. 为了评价设计的适应性，应确定定量和/或定性成功标准且应与第2.12段中的设计目标相一致。

3.23. 应进行评定以证明与核电厂设计相关的内部危害已得到考虑，预防和缓解危害的规定在设计上有足够的安全裕度，可以解决在识别和表征内部危害及其影响方面的不确定性并避免了陡边效应。这项评定应在设计阶段早期进行并应有据可查。应在反应堆首次装入核燃料之前更新，并应在电厂运行期间保持最新状态。

3.24. 设计的目标应该是单一内部危害不会导致事故，除非危害本身就是一个假想事故（如管道破裂）。尤其是设计应以高置信度确保单一内部危害不会导致堆芯熔化的设计扩展工况。如果不能做到这一点，设计人员应证明用于分析相应事故的边界条件不会受到内部危害引起负载的影响。

3.25. 在设计扩展工况下使用的保护结构、系统和部件的设计功能应针对与这些假想方案（例如氢气燃烧的影响）相关的负载、工况和持续时间进行设计或核实。在设计扩展工况完全缓解之前应保护这些设计功能免受内部危害的影响。最佳估计设计负载、工况和持续时间可用于设计或核实这些保护功能。

3.26. 应进行确定性安全分析，并在适用的情况下辅以概率分析，以证明针对内部危害的防护设计的充分性。考虑到这些安全分析的结果，设计应该是一个迭代过程。

3.27. 在核电厂某一特定位置的确定性安全分析应考虑的内部危害包括以下类别：

- (a) 不会引发或导致预计运行事件或事故的内部危害；
- (b) 可能引发或导致预计运行事件的内部危害；
- (c) 可能引发或导致设计基准事故的内部危害；
- (d) 可能引发或导致设计扩展工况而燃料没有显著损坏的内部危害；
- (e) 可能导致设计扩展工况直至堆芯熔化的内部危害。

3.28. 对于不会引发或导致预计运行事件或事故的内部危害应进行评定，以证明即使发生单一故障，即使设备由于设计中考虑的预防性维护而无法使用时电厂也能达到并保持安全状态。在实践中，通常利用系统功能分析以证明有足够数量的功能设计可用于使电厂达到和维持安全状态。

3.29. 对于可能引发或导致预计运行事件的内部危害，应进行评定以证明即使发生单一故障，即使设备由于设计中考虑的预防性维护而无法使用时，电厂也可以达到并保持安全状态。由于预计运行事件的相关分析已经提供了瞬变的具体分析，在此无需进行重复的工作。在这种情况下，对内部危害的分析通常只进行功能分析，该分析应证明设计提供了足够数量的系统功能来控制预计运行事件并达到和维持安全状态。

3.30. 对于没有显著燃料的损坏事故而造成的内部危害，评定的目标应是证明边界状态，特别是事故分析中认定系统的边界状态不会受到危害的影响和破坏。由于这些分析都是由相应的事故分析提供的，通常没有必要再次进行特定的事故分析。在这些事故分析中，设计基准事故规则或没有燃料显著损坏情况下的设计扩展工况应该是适用的（见原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-2 (Rev.1) 号《核电厂确定性安全分析》[5]）。如第 2.11 段所述，应尽量避免因内部危害引起的设计基准事故或设计扩展工况。如果内部危害可能会导致没有燃料显著损坏事故，则评定的目标应是证明基本安全功能可以被实现，电厂可以达到并保持安全状态。

3.31. 对于会导致堆芯熔化的设计扩展工况所触发内部危害的确定性评定应使用相应的规则[5]证明边界状态，特别是事故分析中所认定系统的边界状态应不会受到危害的影响和破坏。应证明为保持安全壳的完整性所必需的结构、系统和部件不会受到危害的影响和破坏。特别是应确保提供必要测量仪器仪表的完整性。

## 内部危害防护设计的特定方面

3.32. 对于包含多机组的场址，应采取步骤确保一个正在建造、运行或退役的机组内部危害不会对邻近的运行机组或场址上的其他设施（例如乏燃料水池、放射性废物管理设施）产生任何安全后果。必要时应采取临时隔离措施以保护运行机组。应考虑到涉及各机组之间共用设施的内部危害的可能性（见 SSR-2/1 (Rev.1) [1]第 5.63 段）。

3.33. 主控制室和辅助控制室应尽可能与可能的内部危害来源充分隔离。在应对内部危害时将控制权从主控制室转移到辅助控制室的方式应具有可迅速恢复的能力，以防止故障或虚假动作<sup>4</sup>。

3.34. 第4部分给出了关于评定和核实特定内部危害的额外指导。附录 I 提供了关于危害组合方法的进一步资料。

## 4. 关于特定内部危害的建议

### 内部火灾

#### 概述

4.1. 核电厂包含一系列可燃材料，作为结构、设备、流体、电缆或贮存的杂项物项的一部分。火灾被假想在任何存在可燃物的电厂区域都有可能发生。对于那些不可能消除这些材料位置和区域，则应对所有固定和暂时（临时）火灾负载，采用消防措施设计。这些措施包括最大限度地减少固定火灾负载，防止其累积以及控制或（最好）消除火源。

4.2. 消防措施的设计应在设计过程的早期阶段开始。在核燃料运抵场址之前应充分实施所有此类措施。

#### 火灾危害的识别与表征

4.3. 电厂现场应进行火灾危害分析以证明消防措施的总体充分性。特别是火灾危害分析应确定防火屏障必要的耐火等级和必要的火灾探测和消防功能（见附录 II 中关于火灾危害分析的详细建议）。

4.4. 应根据第 3.23 段中的建议进行火灾危害分析。

---

<sup>4</sup> 电厂部件（相同类型或不同类型部件的组合）的虚假动作有可能将给定的电厂置于不安全的运行工况下，该工况可能不受电厂安全分析的限制。

## 防火

4.5. 在设计中应采取以下措施，以尽量减少内部火灾的可能性：

- (a) 在切实可行的范围内，清除、尽量减少和隔离固定和瞬态火灾负载；
- (b) 尽可能消除潜在的火源，否则，严格控制任何此类来源；
- (c) 隔离火源与可燃物。

## 火灾负载最小化

4.6. SSR-2/1 (Rev.1) [1]第 6.54 段指出：

“在可行的情况下，应在整个电厂内使用不可燃或阻燃和耐热材料，尤其是在安全壳和控制室等位置。”

4.7. 为了尽可能减少火灾负载，从而将火灾危害降至最低，厂房设计应考虑以下几个方面：

- (a) 尽可能使用不可燃的建筑材料（如结构材料、绝缘材料、包覆层、涂料、地板材料）和设备固定装置；
- (b) 尽可能使用不可燃空气过滤器和过滤框架，否则应使用低可燃性材料；
- (c) 使用保护管或双管设计，用于润滑油管路和泄漏润滑油的收集；
- (d) 汽轮机和其他设备的控制系统使用低易燃性的液压控制油；
- (e) 尽可能选择干式变压器；
- (f) 在开关和断路器等电气设备中以及在控制和仪器仪表室中使用不可燃材料，以及使用阻燃、无腐蚀性电缆或适当鉴定的电缆；
- (g) 使用不可燃的脚手架和脚手架材料；
- (h) 在可行范围内，将火灾负载隔离和分隔，以减少火灾可能性及其蔓延到其他安全重要结构、系统和部件的影响。

4.8. 应采取预防措施，防止绝热材料吸收易燃液体（如油）。应提供合适的保护覆盖或滴水防护。

4.9. 应将设计措施落实到位以适当方式贮存在电厂运行过程中产生的过程性或临时性可燃物，或者将其与安全重要物项分开，也可以其他方式加以保护。

4.10. 厂房内易燃液体和气体的贮存量应最小化。任何易燃或可燃材料的批量供应的贮存区应位于没有安全重要物项布置的区域或厂房内。

4.11. 应提供合适的防火贮存柜，以容纳支持电厂运行所需的任何少量易燃液体或气体。

4.12. 含有易燃液体或气体的系统设计应具有高度的完整性以防止泄漏。应保护它们避免降解效应（如腐蚀）和破坏性效应（如振动危害的影响）并保持在良好状态。应提供安全设备，如限流、过流和/或自动关闭设备，以及捆扎和/或堤坝设备，以在发生故障时限制潜在的易燃物溢出。

## 火源最小化

4.13. 在设计中，应尽可能减少火源的数量（例如，可对电气保护系统采用可迅速恢复的设计）。

4.14. 含有加压可燃液体（如液压油和润滑油）的系统应尽可能设置喷淋灭火设备。根据环境中存在的危害，设备应达到适当的额定等级，以防止它为可燃气体和可燃喷雾提供火源。

4.15. 应控制来自电厂系统和设备的潜在火源。

4.16. 在可行的范围内，系统和设备应通过设计使其安全以免提供任何火源。如不可行则应将该系统及设备与可燃物分离，也可将可燃物隔绝或包络。分装易燃液体或气体的设备应适当接地。不能移到别处的可燃物，附近的热管道应进行屏蔽和/或绝缘。

4.17. 电缆应敷设在托盘或已安装的管道中，或放置在由不可燃材料制成的其他可接受的结构中，钢结构常用于此目的。电力电缆或电缆桥架之间的距离应足以防止电缆加热到不可接受的高温。电气保护系统的设计应使电缆在正常负载或瞬态短路工况下不会过热。进一步的建议见原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-39 号《核电厂仪器仪表和控制系统的的设计》[6]和原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-34 号《核电厂电力系统的设计》[7]。

## 火灾缓解

### 及时发现和扑灭火灾

4.18. SSR-2/1 (Rev.1) [1]要求 74 规定：

**“应在整个核电厂内设置消防系统，包括火灾探测系统和消防系统、防火屏障和烟雾控制系统，并适当考虑火灾危害分析的结果。”**

这些系统和设备的设计应能在发生火灾时及时警报，并能迅速扑灭火灾，以便最大限度地缓解安全重要物项和执行安全重要行动的电厂工作人员的不利影响。

4.19. 对于由不同事件（例如地震）导致的火灾，设计应识别并充分设计鉴定的能动和非能动防火手段，保护安全非常重要的结构、系统和部件，以消除这些事件的后果。

4.20. 无需在假想始发事件后保持功能能动式和非能动式防火设备应当被设计并进行品质鉴定，以确保它们不会以可能安全不利影响的方式故障。

4.21. 在设计火灾探测和消防系统和设备时，必须考虑将误警报的次数和消防介质的排放减少到最低限度。

4.22. SSR-2/1 (Rev.1) [1]第 6.51 段指出：

**“在适当的情况下，消防系统必须能够自动启动。消防系统的设计和布置应确保其破裂、虚假或疏忽的操作不会严重损害安全重要物项的能力。”**

此外，消防系统的设计和布置应使它们不会同时影响安全成组的冗余部分，从而导致为满足单一故障标准而采取的措施无效。

4.23. 火警探测系统、消防系统和辅助系统，例如通风和排水系统，应在切实可行的范围内，独立于其他防火分区的对应系统。这样做的目的是维持这类系统在邻近防火分区的可运行性。

4.24. 火灾的控制是通过固定的消防系统和设备与人工消防能力相结合来实现的。为确保防火分区有足够的防护水平，电厂设计时应考虑以下因素：

- (a) 如果火灾探测或消防系统被认为是防火分区的主要组成部分时，其设计、采购、安装、核实和定期试验的安排应充分的严格以确保其永久可用。在这种情况下，这些系统的功能设计应考虑到其所保护对象的安全功能单一故障标准的应用。SSR-2/1 (Rev.1) [1]第 5.39—5.40 段表征了单一故障标准的应用；
- (b) 如果依靠火灾探测系统或固定消防系统来防护不同事件引起（例如外部或内部危害）后续潜在火灾，它们的设计应能承受该事件的效应；
- (c) 消防系统的正常或误操作不应损害其所防护对象安全功能的发挥。

4.25. 火灾探测和消防系统的可靠性应与其所提供的纵深防御的角色以及SSG-39[6]提出的建议相一致。这还包括确保水源的供应（包括电源供应）和公用设施（消防栓）的维护使其能够满足任何必要的需求。

4.26. 每个防火分区都应配备合适、有效和可靠的火灾探测和警报功能。

4.27. SSR-2/1 (Rev.1) [1]第 6.52 段指出：“火灾探测系统的设计应能迅速向运行人员提供关于所有已发生火灾的位置和蔓延的信息。”在采取行动以避免安全重要结构、系统和部件产生不利影响时应使用这些信息。

4.28. 当消防泵、喷水系统、通风设备和防火阀等由火警探测系统控制时，在误操作将危及安全功能的情况下，这些设备的运行应由两种不同的检测方式串联控制。如果发现驱动信号是错误的，设计应该允许系统的运行被停止。

4.29. 消防和消防系统和设备，包括手动消防设备，应具有足够的能力以确保防止（例如由于热材料）火灾再次复燃。

## 防止火势蔓延

4.30. 在设计阶段的早期厂房应尽可能划分为防火分区，如果不可能，则划分为防火单元。

4.31. 建筑结构（包括柱和梁）应具有合适的耐火等级。防火分区边界或防火分区内受力结构部件的防火稳定性等级（机械承载能力和热承载能力）不应小于防火分区本身的耐火等级。

4.32. 电厂布置应尽量使易燃材料（固态、液态和气态）不靠近安全重要物项。设计目标应该是将安全重要物项与高火灾负载隔离开来，并将冗余的安全系统彼此隔离开来。这种隔离的目的是降低火灾蔓延的风险，最大限度地减少次生影响并防止共因故障。

4.33. 安全系统冗余部分的隔离确保了一个影响安全系统的某个分区<sup>5</sup>的火灾不会阻止在另一个分区内的安全系统执行安全功能。这应该通过将安全系统的各个冗余部分布置在它自己的防火分区里或至少布置在它自己的防火单元中来实现。不同冗余分区之间的防火分区应尽量减少贯穿次数，并对贯穿密封进行鉴定。

4.34. 对于所有含有安全重要物项的区域和所有其他安全重要物项构成火灾危害的地点，应分析假想火灾安全重要物项的影响。在分析中，应假想在假想火灾的防火分区或防火单元内所有安全重要系统的功能故障，除非它们被经鉴定的防火屏障保护或被设计的、可承受火灾后果的外壳、围墙或密封所包围。例外情况应该是正当的。

## 火灾次生效应的缓解

### 概述

4.35. 烟雾是火灾的非常危害（直接和间接）的次生效应（它不受起火地点的限制，而有可能蔓延到的其他区域）；其次是辐射热和对流热以及火焰；可能导致火势进一步蔓延，如设备损坏、功能故障甚至爆炸，火灾导致的其他次生效应，还有压力的增加和氧气水平的降低。由于消防所产生的次生效应也应该考虑属于火灾的次生效应。

4.36. 缓解火灾效应的主要目标如下：

- (a) 将火焰、热量和烟雾限制在电厂内有限的空间内，以尽量减少火灾的蔓延和对周围设备的影响；
- (b) 为工作人员提供安全的逃生通道和出入通道；

---

<sup>5</sup> 一个系统或一组部件可以被划分为冗余的“分区”，以允许实现和维护相对于其他冗余部件组的实物、电气和功能独立性[8]。

- (c) 为人工消防、手动启动固定消防系统和电厂工作人员达到和维持安全关闭所必需的系统提供通道；
- (d) 如有需要，在火警期间或火警之后为排出烟雾及热量提供方法和手段；
- (e) 控制灭火剂的扩散，防止安全重要物项造成破坏。

## 厂房布局

4.37. 在考虑如何缓解火灾效应时，应该将厂房、设备、电厂通风系统以及固定的火灾探测和消防手段的布局统一考虑在内。

4.38. SSR-2/1 (Rev.1) [1]要求 36 规定：

**“核电厂须提供有足够数目的逃生通道，并且应有清楚而耐用的指示，必须有可靠的应急照明、通风及其他安全使用这些逃生通道所必需的服务设施。”**

还应为消防队或现场电厂工作人员提供足够的通道，并对这些通道进行保护。在切实可行的范围内，应限制在逃生通道和进出通道内使用可燃材料（例如照明、油漆、涂料）。厂房的布局应防止火势和烟雾从邻近的防火分区或防火单元蔓延到逃生通道或进出通道。附录 II 提供了进一步的细节。

## 通风系统

4.39. 通风系统既不应损害厂房的防火分区，也不应损害安全系统冗余分区的可用性。并应在火灾危害分析中考虑这些条件。

4.40. 每个包含安全系统冗余部分的防火分区应具有通风系统，其设计应使一个安全防火分区内的火灾不会传播导致另一个安全防火分区通风功能的丧失。位于相邻防火分区的通风系统部分（例如连接管道、风扇室）应具有与该防火分区相同的耐火等级，或者，防火分区的贯穿应由适当等级的防火阀隔离。这些隔离在适当情况下的操作应该自动进行。

4.41. 如一个通风系统服务于多个防火分区，则应作出安排以维持防火分区的隔离。应通过设置在每个防火分区之间的边界安装防火阀或酌情安装耐火管道设备来防止火、热或烟雾蔓延到其他防火分区。

4.42. 木炭过滤器因木炭可燃性具有很高的火灾负载，在确定防火方案时应考虑这些因素。过滤器木炭组的火灾可能导致放射性排放。因此，应以非能动和能动方法提供保护，以保护木炭过滤器远离火灾。这些措施可包括以下内容：

- (a) 将过滤器布置在防火分区中；
- (b) 对流经过滤器的空气进行温度监控，温度过高则应自动隔离；
- (c) 通过洒水装置冷却过滤容器的外壳，以提供自动保护过滤器；
- (d) 在过滤器内设置适当的消防系统。在设计水基消防系统时须考虑水的流量。如果流量过低，在高温燃烧下的木炭会与水反应导致氢气的产生可能引发另一场火灾或爆炸的危害。为了防止这种风险，应该使用大流率的水流。注入过滤器容器内的水应该被排出，或者在过滤器设计中考虑注入水的负载。

4.43. 如果通风系统或过滤装置需要使用可燃过滤器，而这些过滤器后续的故障或失效可能导致不可接受的放射性排放，则应采取以下预防措施：

- (a) 所有过滤器应通过充分的防火屏障与其他设备隔离；
- (b) 应使用适当的方法（如安装的上游和下游防火阀）来保护过滤器免受火灾的作用；
- (c) 应适当安装火灾探测器、一氧化碳气体传感器和/或温度传感器，以通知电厂工作人员过滤器组发生火灾。

4.44. 防火分区的新风进口的布置应与其他防火分区的排风口和排烟口保持一定距离，最大程度地避免烟雾或燃烧产物的吸入或导致分区内安全重要物项的故障。

## 火灾和潜在的放射性排放

4.45. 应在火灾危害分析中识别，在发生火灾时可能出现放射性物质排放的设备。这种设备应该被安置在独立的防火分区中，在该分区中设计的固定和瞬态火灾负载都应该是最小化的。

4.46. 设计应在含有放射性物质的防火分区内提供热量和烟气排放功能。尽管通风排气可能导致放射性物质向外部环境排放，但它可以直接或通过

改善灭火条件来防止随后大量放射性物质的排放。应注意区分以下两种情况：

- (a) 可能的排放可以被证明远低于监管限值；
- (b) 防火分区中放射性物质的数量可能会产生超过监管限值的放射性排放。在这种情况下，应制定措施隔离通风或关闭防火阀。

在任何情况下都应该对排放的空气进行监控，以便为运行决策提供信息。

4.47. 设计上应该采取技术措施，将放射性物质的排放量保持在可以达到尽量低的水平（见 SSR-2/1（Rev.1）[1]要求 34。设计要求包括，对过滤器状况进行监控（见 SSR-2/1（Rev.1）[1]第 6.63 段），以协助电厂工作人员做出运行决策。

## 电气设备的布置和系统

4.48. 安全冗余系统的电缆应敷设在单独的特别保护线路内，最好在切实可行的范围内安装在单独的防火分区内，电缆不应在安全冗余系统的分区之间交叉。如第 II.17 段所述，在某些地方可能需要例外，如控制室和反应堆安全壳。在这种例外情况下，电缆应由经鉴定的防火屏障或包络（例如经鉴定的电缆包覆层）来保护。也可以使用消防系统或其他适当的方法进行电缆保护，并应在火灾危害分析中说明正当性。

4.49. 应分析所有可能影响执行安全功能冗余系统火灾所引起的故障（例如，通过电路分析，包括多次虚假驱动）。以便对电气线路进行改道，或者由经鉴定的防火屏障和消防系统对电气线路共同保护，并在火灾危害分析中给出适当的正当性。

## 特殊区域

4.50. 核电厂的主控制室一般都在近距离内装有不同安全系统的控制设备。在实际可行的条件下，应特别注意确保电气柜、房间结构本身、所有固定家具、地板和墙壁饰面使用不可燃材料。用于执行相同安全功能的冗余设备应布设在单独的电气柜内。应尽可能使用防火屏障以提供任何必要的隔离。应尽一切努力将控制室的火灾负载控制在最低限度。

4.51. 为确保主控制室和辅助控制室可居住性，应防止烟雾和燃烧气体的进入，以及火灾和消防系统运行时的其他直接或间接影响。

4.52. 辅助控制室的防火应与主控室相似。应特别强调防止水淹和消防系统运行时的其他影响。辅助控制室应位于与主控制室隔离的防火分区内。辅助控制室的通风系统不可与主控室共用。主控制室和辅助控制室之间的分隔应符合第 2.12(e) 段的设计目标。

4.53. 反应堆安全壳是一个防火分区，在该分区中安全系统冗余部分的设备有可能相互靠近。安全系统的冗余部分应尽可能拉开距离，并应尽可能采用非能动防护措施，如局部防火罩和电缆防火系统。

4.54. 含有大量可燃润滑油储备的反应堆冷却剂泵马达应配备火灾探测系统、固定消防系统（通常由人工控制）和漏油收集系统（例如油盘）。漏油收集系统应能够从所有潜在的泄漏点或排放点收集油和水，并将其排放到通风的收纳容器或其他安全位置。

4.55. 与第 4.54 段所述类似的规定也应适用于充油变压器。

4.56. 汽轮机厂房应该也包含安全重要物项。在某些厂房的某些部位进行防火分区可能很困难，并且存在大量的火灾负载，例如大量的可燃物广泛地存留在汽轮机的润滑、冷却和液压系统中，以及发电机内部大量使用的氢气。因此，除了消防系统外，还应为所有含有易燃液体的设备提供充分的漏油收集系统（如油盘）。应尽量减少易燃的碳氢化合物润滑油的使用。如果必须使用易燃液体，则应使用具有高闪点的液体以符合运行需要。

4.57. 在设计扩展工况下的安全功能需要在这种工况下长期发挥作用，应采取技术措施或设计手段保护其免受火灾的影响。

4.58. 在严重事故期间，用于安全壳中长期排热的系统和设备在设计上应该是冗余或多样化驱动的，并布置在不同的防火分区中。

4.59. 在严重事故期间，为限制放射性物质而长期需要的通风设备应该是冗余设置的并布置在不同的防火分区。系统中含有木炭过滤器的部分应该进行隔离，在设计上应具有适当的防火功能（见第 4.42 段）。

## 内部爆炸

### 概述

4.60. 在实际工作中,应尽可能通过设计彻底消除爆炸危害。在设计上,首先应考虑防止或限制爆炸性混合物的形成。

### 爆炸危害的识别与表征

4.61. 应查明厂房和安装安全重要物项的防火分区内的爆炸危害,以及对这些区域构成重大威胁的其他部位的爆炸危害。化学爆炸(通常是气体混合物的爆炸)、由火灾引起的沸腾液体而导致的膨胀蒸汽爆炸、油雾、压力容器故障引起的爆炸以及伴随着快速的空气膨胀和等离子体体积聚的高能电弧断路<sup>6</sup>,都是应该考虑的爆炸危害。

4.62. 在确定爆炸危害后,还应考虑爆炸的结果影响(例如,爆炸后输送易燃气体管道的破裂)。

### 爆炸危害的预防

4.63. 在设计上,易燃气体和液体以及可燃材料可能产生或促成爆炸性混合物的形成,应排除在安装有安全重要物项免受其他内部危害的防火分区(即由屏障隔开的密封区域)之外。同时该类易燃气体及液体及可燃材料,亦应排除在这些防火分区邻近区域,或以通风系统连接起来的防火分区的邻近区域之外。如果不能彻底排除这类材料,则应严格限制此类材料的数量并应提供足够的贮存设施。反应性物质、氧化剂和可燃物必须进行相互隔离。

4.64. 装有压缩易燃气体的容器应安全地存储在远离主要电厂厂房的专用场地内,并提供适当的防护措施免受当地环境和危害条件的影响。

---

<sup>6</sup> 高能电弧断路是指高能或爆炸性电气设备故障,其表征是由于通电导体之间或通电电气元件与中性点或接地之间产生大电流电弧,以热、光、金属汽化和压力增加的形式迅速排放能量。这种故障也可能导致射弹从电气部件或原机箱中弹出并导致火灾。

4.65. 为了防止火灾引起的爆炸影响到安全重要物项，在可能的情况为切断可燃气体管道供应，或进行消防灭火，应考虑设置自动监控系统以探测可燃气体的排放。

4.66. 氢气供应储罐及其供气管路应放置在通风良好的室外空间，与安装有安全重要物项的电厂区域隔开。如果此类设备必须放置在室内，则应放置在远离存放安全重要物项的区域。其内部贮存场所应配备通风系统，用于确保在发生氢气泄漏时，氢气浓度保持在低于可燃安全水平的下限。应提供氢气检测设备，在设计上应在适当低的气体浓度下发出警报。

4.67. 使用氢气冷却的汽轮发电机，应提供监控设备以指示冷却系统内氢气的压力和纯度。在氢气充入前或排出时，应规定使用如二氧化碳或氮气惰性气体清洗管道、管道设备和相关系统。

4.68. 每个蓄电池组房间如装有在运行期间可产生氢气的蓄电池组，应设置足够的通风系统使氢气浓度保持在低于可燃安全水平的下限。无论是否有运行的通风系统，房间的布局和通风系统的设计应能够防止氢气的局部积聚。

4.69. 每个蓄电池组房间应配备氢气检测系统和通风系统传感器，以便向主控制室提供警报，指示氢气水平接近可燃安全的下限和通风系统的任何故障。如果在蓄电池室的通风系统上安装防火阀，则应考虑其关闭对氢气积聚的影响。一旦发生警报，应采取停止蓄电池充电等措施。

4.70. 应考虑使用重组蓄电池（产生更少的氢气），但不应假想这将消除产生氢气的风险。

4.71. 对于因火灾暴露而引起爆炸的危害，例如，液体遇火沸腾导致膨胀蒸汽爆炸。应将潜在的火灾风险与潜在的爆炸性液体和气体分开，或采取积极措施，例如设计适当的固定消防系统以提供冷却，或将蒸汽分散。

4.72. 第 4.66 段、第 4.67 段和第 4.77 段的规定，可根据实际情况适用于任何其他散装易燃气体的罐装贮存和使用。包括在维护和维修工作中使用的装有易燃气体的钢瓶。

## 爆炸的效应的缓解

4.73. 应执行能够抵抗或限制爆炸影响的技术措施（例如适当的设计或运行规定），以最大限度地减少风险：例如限制爆炸性气体混合物的体积、惰化、爆炸泄爆（例如爆破膜或其他泄压装置）以及将爆炸源与安全重要物项隔离。对于在假想始发事件后需要维持其功能的设备，应进行识别和充分设计以承受该事件的效应，或对其进行防护以防止此类事件的发生。

4.74. 应考虑液体沸腾导致膨胀蒸汽爆炸产生的爆炸超压和飞射物，以及在远离排放点的地点燃易爆气体的可能性，这可能导致气体云爆炸。应尽量避免在过热极限温度以上运行，以尽量减少液体沸腾导致的膨胀蒸汽爆炸的可能性。

4.75. 有些危害（例如高能电弧断路）虽然不是传统意义上的爆炸，但就其对附近的结构、系统和部件施加的负载（例如温度、压力、飞射物）而言与爆炸相似。因此，类似的设计规定对于缓解这类危害的影响是适用的。

4.76. 应落实设计规定以限制爆炸（超压、飞射物产生或火灾）的后果。假想爆炸安全重要物项产生的效应，应对照第 2.12 段的设计目标进行评定。还应评定运行人员执行安全重要手动操作的进入通道和逃生通道，并在必要时实施特殊的设计规定。

4.77. 凡在电厂运行中由于使用氢气而具有潜在危害的地方，应通过使用氢气监控器、氢氧重组器、充分通风和受控氢气燃烧系统（所有这些都是设计用于爆炸性气体环境的）或其他适当的手段来控制危害。在使用惰性气体的地方，应考虑在没有惰性气体保护时，运行状态下（如维护和换料）火灾的危害，并应注意确保气体混合物保持在不可燃的限值内。

## 内部飞射物

4.78. 核电厂包含承压部件和旋转机械，这些部件可能发生破坏性故障并导致飞射物。飞射物是具有一定动能并已离开其设计位置的物体。在本“安全导则”内部飞射物术语用于表征来自场址边界内的运动物体。

## 飞射物危害来源的识别与表征

4.79. 应识别并掌握可能飞射物的来源，并估计飞射物的可能概率、动能、大小和轨迹。应该评定飞射物对可能目标和安全重要物项的影响。

4.80. 飞射物危害分析通常采用确定性和概率相结合的方法。多数飞射物是在确定性的基础上假设的，它们对结构、系统和部件的打击和破坏的效应也都进行了评定。应正式说明安全评定的确定性方面，即使在飞射物危害的所有环节都是一引发、撞击和破坏—都得到了概率处理的情况下也是如此。

4.81. 还应评定次生飞射物的潜在威胁，它可能破坏安全重要结构、系统和部件。这种评定应包括考虑可能的碎片弹跳效应，如果根据专家判断认为可信的话（例如，为了考虑附近目标的健稳性时，可以认定飞射物撞击后的剩余能量仍足以造成弹跳破坏）。

## 压力容器故障

4.82. 在核电厂中，安全重要压力容器是通过全面、深入的实践来设计和建造的，以确保其安全运行。分析表明，在所有设计条件下，应力水平都是可以接受的。设计、建造、安装和试验的所有阶段都应按照批准的程序进行管理，以核实所有工作都按照设计规范进行，并且容器的最终质量是可接受的。在系统调试和运行期间，除了可靠的超压保护以外，一项专门的监视计划，也被用来确定这类容器是否保持在其设计限值范围内。因此，人们普遍认为，核电厂压力容器，如反应堆压力容器或其他设计的具有大裕度的高质量容器的严重故障是完全不可能的，将这些容器的破裂视为一种内部危害是不必要的。详见原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-56 号《核电厂反应堆冷却剂系统和相关系统的设计》[9]。其他含有高能流体的容器故障应进行评定，因为这些容器如果破裂可能成为飞射物和其他随之而来危害的来源。

4.83. 在实际情况下，压力容器应尽可能设计成以延展性方式故障，或以减少飞射物和碎片危害的方式故障。如果压力容器可能以脆性方式故障，则应假想和分析一通道飞射物尺寸和形状，以涵盖各种可能性，这是确定飞射物防护系统或结构设计的基础。或者，确定一种如何认定飞射物的简化而保守的方法。

## 阀门故障

4.84. 在流体系统中，处于高能运行的阀门应该被计入为飞射物的潜在来源。

4.85. 在方法上，阀体的设计、制造和维护通常要比连接的管道更加坚固。由于这个原因，人们普遍认为由于阀体本身的故障而产生飞射物的可能性很小，因此在电厂的设计和/或评价中不必考虑这一点。

4.86. 阀门的可拆卸部件（例如阀杆、阀盖、马达）是导致飞射物产生的最大潜在风险，这一点应予以考虑。

## 控制棒弹出

4.87. 对于反应堆容器中存在显著流体压力的反应堆设计，通常会假想控制棒由于流体的驱动力而弹射出去。根据特定的反应堆设计，这种假想的飞射物可能有可能造成重大的初级或次级破坏。典型的问题包括对邻近控制棒、安全系统和安全壳结构的可能破坏。

## 高速旋转设备故障

4.88. 主汽轮发电机组、汽轮机、大型泵（如主冷却剂泵）及其电机或飞轮的故障都有可能产生飞射物。这种故障既可能是由旋转部件的缺陷，也有可能是超速导致的极端应力引起的。典型的飞射物包括以下几种：

- 风扇叶片；
- 涡轮盘碎片或叶片；
- 泵叶轮；
- 飞轮；
- 联接螺栓。

4.89. 旋转机械通常在旋转部件周围有一个包围结构，由于这个包围结构或罩壳的吸能特征，应考虑飞射物在冲破结构后的能量损失。在可行的范围内，能量损失的计算应基于类似结构试验的经验数据。为了简单起见，利用罩壳结构拦截旋转飞射部件的方法，应该基于运行经验的反馈和制造商的

正当性。或者，可以采用保守的方法，假想飞射物与旋转机械罩壳的相互作用中没有能量损失。

4.90. 旋转机械故障造成的飞射物应根据其潜在的危害来确定其表征，并应纳入对可能的主要和次生效应的评价中。在确定了要研究的飞射物后，应根据潜在目标表征飞射物的潜在方向，同时考虑到以下因素：

- (a) 飞射物的最大射程将受到可用能量和质量的限制；
- (b) 飞射物可能弹出方向的考虑应有助于确定潜在目标的位置，以便避免飞射物袭击，特别是如果飞射物是单向的（如阀杆）；
- (c) 在其他情况下，飞射物可能会呈现为以一个平面或扇形进行弹射，就像旋转机器一样。在旋转机械故障中，有证据表明，高能飞射物通常在旋转平面的非常窄的角度内发射，除非它们被障碍物偏转或被外壳阻止。然而，也有证据表明，少量飞射物可以从旋转平面以更宽的角度着陆。因此，可能有必要对内部飞射物的方向敏感性和场址布局的影响进行研究。

## 飞射物危害的预防

### 压力容器故障的预防

4.91. 防止压力容器故障的措施包括了第一级纵深防御的一般考虑，还包括了保守的设计和材料选择、高质量的建造，以及在建造和运行中的监视。关于超压保护，与压力容器相关的特定措施还包括了可靠的防护系统（例如安全阀和压力容器锚固或支架的设计）。

### 防止阀门或螺栓连接故障

4.92. 阀门的设计应防止可拆卸部件在发生故障时成为飞射物。

4.93. 作为一项设计标准，任何一个螺栓失效都不应导致除螺栓本身之外飞射物的生成。本建议适用于阀门、压力容器和其他高能量螺栓部件。

4.94. 如果流体内容物泄漏覆盖了密封接头，应考虑由于腐蚀或应力腐蚀造成的多个螺栓失效的可能性。

4.95. 除非其他考虑因素排除这一点，否则安装可拆卸阀部件的方式应使其弹出不会导致飞射物对目标的撞击。

### 控制棒弹出的预防

4.96. 应通过实施专门的特点设计来减少控制棒被弹出的可能性。应该通过一个严格的开发计划来确认，以证明这些设计特点有能力在控制棒的运行外壳发生故障时保持控制棒和驱动部件不变成飞射物。

### 旋转机械故障的预防

4.97. 对于汽轮发电机这类的主要设备，无论从主轴方向还是电厂总体布局方向来看，旋转机械的正确定位都是一种预防措施。汽轮发电机的布局应使潜在目标布置在汽轮机故障产生的飞射物最不容易直接打击的区域内。也就是说，布置在一个轴线沿着汽轮机轴线的圆锥体内。这种布置考虑了这样一个事实，即大部分的转子如果出现飞射都更倾向于在垂直于汽轮机轴的方向上飞出。通常使用与轴线垂直的任一边  $25^\circ$  的弹射锥体内，因为有证据表明大多数飞射物都是在这个锥体内出现飞射的。然而，设计人员应该证明任何这样的主张是正当的。这种布置上的安排并没有消除这种飞射物击中目标的可能性，但它大大降低了直接撞击的可能性。

4.98. 防止旋转机械发生故障应采取以下实践：

- (a) 仔细选择材料，应在所有设备状态设计的基准上考虑速度控制功能和应力裕度；
- (b) 应采取无损检测和其他检测方法以发现可能的缺陷，并采取质量控制措施以确保安装的设备符合所有规范；
- (c) 评价防止破坏性超速技术的可靠性。这应包括用于检测和防止超速的设备、相关的电源设备、仪器仪表和控制设备，以及定期校准和试验这些设备的准备状态所涉及的程序。

4.99. 应通过调速器、离合器和制动器等设施，以及仪器仪表、控制和阀门系统的组合，提供额外的冗余手段以限制旋转速度，确保超速发生的可能性低到可以接受。

4.100. 虽然工程上有解决办法来限制速度和防止飞射物因过度超速而出现，但这些规定本身仍然可能不会使旋转设备产生飞射物的可能性低得可以接受。除了超速引起的故障外，仍有可能由于在转子上的缺陷导致飞射物以正常运行速度或低于正常运行速度产生。这些飞射物应以其他方式处理，例如：保守的设计、高质量的制造、精心的运行、适当的参数监控（如振动）和全面的在役检查。旋转厂房设备应按照制造商的指示进行维护和更换。当所有这些手段运用得当时，通过旋转机器故障产生飞射物的概率可以显著降低。

### 缓解飞射物危害的效应

4.101. 在设计中应考虑如下两种功能，一是能够滞留因设备故障而产生高能飞射物的功能，另一种是将这种飞射物转向无害方向的功能。

4.102. 为了密切地控制飞射物的潜在来源，阀门、泵、电动发电机和高压气体容器应位于有栅栏的区域，例如，足够坚固的混凝土结构。目标也可以用屏蔽物（如栅栏）来保护。屏蔽物还用于缓解某些次生效应的影响，如飞射物的碎片或从混凝土目标上弹出的混凝土块。

4.103. 飞射物屏蔽物通常由钢筋混凝土结构或钢板结构组成。但是，也可以使用编织钢网或飞射物偏转器等其他手段。

4.104. 在屏蔽物设计时，应考虑飞射物对屏蔽物的局部和一般效应，具体如下：

#### (a) 混凝土和钢筋混凝土屏蔽：

- (i) 混凝土屏蔽的设计应确保屏蔽墙在飞射物撞击下不会倒塌。因此，屏蔽墙的厚度和强度应根据可能的质量、动能、撞击地点和飞射物类型（硬飞射物、软飞射物）保守地确定；
- (ii) 允许屏蔽墙具有弹塑性、延展性的属性；
- (iii) 屏蔽墙的设计应确保硬飞射物不会穿透屏蔽墙；
- (iv) 应该进行分析，以确保飞射物不会在屏蔽墙的安全一侧造成碎片飞溅或剥落，混凝土碎片不会影响安全重要结构、系统和部件；
- (v) 应通过多层或复合屏蔽结构避免混凝土屏蔽碎片生成次生飞射物；

- (vi) 对贯穿深度、剥落和碎片现象的分析可酌情使用经验公式或其他分析模式进行。
- (b) 钢板和多层复合屏蔽：
  - (i) 这些屏障的设计应以贯穿经验公式或其他适当的分析模式为基础；
  - (ii) 钢板或复合屏蔽物的整体变形不应导致屏蔽功能的丧失，变形的屏蔽物不应影响被保护的结构、系统和部件。
- (c) 振动效应：
  - (i) 屏蔽物对飞射物撞击的振动响应，应被视为是一种次级效应，它可能对需要保护的结构、系统和部件产生不利的影响。

## 没有专门飞射物屏蔽保护的情况

4.105. 在某些情况下，没有必要提供专门的飞射物屏蔽。例如，飞射物的质量和能量有可能相对较低，即使没有额外的保护，目标也可能足够坚固，足以抵御飞射物的损害。现有厂房的边界也可以会限制飞射物对电厂的影响。应详细分析飞射物对目标的潜在影响，以证明其破坏效应及其潜在的次生效应不会安全重要结构、系统和部件造成影响。即使飞射物损坏了一个或多个冗余安全系统的部件，冗余安全系统的实物分隔也将确保安全功能继续发挥。

## 缓解压力容器破裂引起的飞射物后果

4.106. 压力容器的故障模式取决于压力容器的各种参数，包括设计、结构材料、焊接过程、制造质量控制和运行工况。通常认为，压力容器作为一个整体成为飞射物的可能性极小，尤其是如果它受到很好约束的话。对于一些容器，圆顶末端故障可能会导致最大的潜在飞射物。根据容器和运行工况，更破碎的故障也可能发生。为了制定针对飞射物的防护措施，在安全评定中应注意来自特定容器潜在飞射物的表征以及这些飞射物对容器局部设备和结构的影响。

4.107. 在输送高压流体的管道的某些部分周围设置无压防护管，在某些情况下，可能有助于对飞射物防护。它提供了两个保护功能：保护周围的结构

和设备免受管道甩击和可能的次生飞射物的影响，以及保护内部压力管免受周围区域产生飞射物的影响。应考虑从受撞击管道中排放的流体潜能和由此产生的内部水淹。

### 缓解因阀门破裂而造成的飞射物后果

4.108. 在设计中应考虑能够滞留因阀门破裂而产生的高能飞射物的功能，或将这种飞射物转向无害方向。这可能包括屏蔽墙或局部飞射物屏蔽物。

### 旋转机械故障所致飞射物后果的缓解

4.109. 在设计中应考虑对旋转机械故障所导致高能飞射物进行滞留的功能，或将这种飞射物转向无害方向。

## 管道破裂（管道甩击、射流效应和水淹）

### 管道破裂的识别与表征

4.110. 根据所考虑管道的特征（内部参数、直径、应力值、疲劳系数），应考虑以下类型的故障：

- (a) 高能管道<sup>7</sup>可能出现径向破裂或轴向贯穿裂纹，或两者兼而有之。所含流体的高能量意味着动力学效应是重要的效应，如管道甩击或射流撞击，应该予以考虑；
- (b) 低能量管道也会出现纵向或径向的贯穿裂缝，尽管考虑到流体的能量，这种裂缝通常比高能量管道中的裂缝更稳定，并且其动力学效应并不那么显著。作为例外，对于低能量管道，可以判断将泄漏尺寸面积限制在明显小于其内部横截面的假设是正当的。

4.111. 如果能够证明所考虑的管道系统在“高能量”参数下只是短时间<sup>8</sup>运行（例如，少于总运行时间的2%），那么管道的有限泄漏假想（而不是破裂）

---

<sup>7</sup> 在一些国家，高能管道的定义是内部工作压力大于 1.9 兆帕或在水的情况下工作温度大于 95℃的管道。在其他国家，这些限值分别为 2.0 兆帕和 100℃。其他限值可能适用于其他流体，例如大于大气压的气体。

<sup>8</sup> 这种办法只在某些国家被认为是可以接受的。

是可以接受的。一些国家制定了将某些管段排除在断裂分析之外的标准（见第 4.136 段）。而作为另一种选择，假想管道完全断裂并对其后果进行评定的保守方式，也可以被视为证明管道设计健稳性的良好实践。

4.112. 应在以下位置假想发生故障：

- (a) 根据安全系统规则设计和运行的管道系统的终端（固定点、与大型管道或部件的连接点）、焊缝和高应力的中间点。以及管道系统的其他位置，例如，该部分管道故障将导致对结构、系统和部件的边界效应的部位，这些都应该进行核实，可能使用现实的假设；
- (b) 在其他管道的所有位置。

4.113. 对于小口径<sup>9</sup>的管道系统，振动和外力都可以引起故障和破裂，所以管道的断裂应假想在任何位置。

4.114. 径向管道破裂很可能是由于老化机理造成的，如腐蚀或疲劳（即裂风增长超过了临界尺寸），也可能是由于严重过载（如，由其他管道破裂导致的水锤或撞击）。这种管道破裂最可能出现的位置是管道的直管部件与管道元件、如管道弯头，三通、大小头、阀门或泵之间的环焊缝。一般来说，管道破裂应考虑在刚度和振动发生变化或温差引起流体分层的任何位置。

4.115. 高能管道的双端切断式断裂的预测频率应根据运行经验或断裂力学来进行计算。这种频率也可以从概率安全评定的评价过程中获得。

4.116. 如果高能量管道上存在纵向焊缝，则应考虑可能导致断裂或大泄漏截面的大纵向贯穿裂缝。

4.117. 在分析安全重要结构、系统和部件的局部效应时，应假想高能管道的完全瞬时断裂，如直接机械撞击（管道甩击）或射流撞击（包括潜在的撞击波负载）。此外，这些管道断裂时的整体效应<sup>10</sup>，包括水淹、湿度增加、温度升高以及放射性水平升高等等，都应该在管道支架、防护手段（如管道约束）和安全重要相关结构、系统和部件设计时进行考虑。

---

<sup>9</sup> 有些国家将“小”定义为公称直径为 50 毫米或更小的管道。在其他国家，公称直径 25 毫米或更小的管道被认为是小的。

<sup>10</sup> 在本“安全导则”，“整体效应”是指整个场址可能产生的影响。

4.118. 管道故障可能通过第 4.117 段所述的局部和全局效应对结构、系统和部件产生重要的安全影响。所有这些可能的影响都应在电厂设计中加以分析和考虑，特别是防护和缓解措施。

4.119. 管道故障可能导致的主要现象有三种，分别是甩击、射流效应和水淹。第 4.120—4.144 段讨论了前两种现象，第 4.145—4.172 段讨论了内部水淹。诸如飞射物和断裂次生效应对环境的影响（例如局部温度和压力的增加）等所引发的故障也进行了讨论。

## 管道甩击

4.120. 在高压管道中，通常形式的甩击是由于双端同时切断式的管道断裂而发生的。当断裂管道的自由截面被排出的高能流体的力推动时，它们往往会被加速，使它们从安装的结构中移出来。在管道支管位移足够大的情况下，巨大的弯矩可能导致管道塑性变形，并在最近的甩击约束或刚性（或足够刚性）支撑处形成塑性变形的连接。这限定了在自由甩击运动阶段围绕这一点相干旋转的支管的长度。

4.121. 对于全部长度都在相同标高的两个管段的管道断口，应假想甩击只在相同标高处发生。否则，应该假想所有运动的方向都会出现甩击（即以塑性变形连接点为中心的球体）。

4.122. 在高压管道中的大纵向贯穿裂缝的情况下，由于没有出现管道的分离，所以在该裂缝附近不会发生经典的甩击现象。然而，在管道呈 V 形、有三个塑性铰、并有可能影响附近其他设备的假设基础上，应考虑较大的位移。

4.123. 应该对甩击管道的支管段进行几何分析，以确定其可能危及目标结构、系统和部件的运动方向。此外，分析应包括对甩击约束结构有效性的评定，表明管道的偏转可以被实物约束所限制。在终端断裂的情况下，应考虑对残留终端的次生效应。

4.124. 为了分析撞击的后果，应该假想管道甩击对类似设计但直径较小的管道的任何撞击都会导致目标管道的损坏（断裂）。根据正当性，直径等于或大于撞击管直径的被撞击目标管道不必假想丧失完整性。但是，如果一个额外的质量（如阀或孔板）存在甩击管道支路上，运动的动能就会增加。加

之，如果靠近管道末端的管道形状发生变化（例如弯头），管道的刚度可能会加大，因此它损坏较大管道的能力也会加大。在这些情况下，即使目标管道比甩击管道大，它仍然可能出现断裂。如果电缆和电缆桥架以及不同类型的结构和仪器仪表支承的是安全重要系统或部件，则这些电缆和桥架也应考虑作为甩击可能的目标。

4.125. 在对甩击的研究中，应考虑到次生飞射物弹出撞击目标后可能发生的破裂。飞射物的来源可能是管道分支内的或连接到管道分支上的单一集中质量，如阀门和泵。如果这些部件有单独的支座，旨在防止这种断裂和形成次生飞射物，则应将分析扩展到这些支座的锚点。还应注意仪器仪表井和管道上的类似附件，它们很可能成为飞射物的进一步来源。

## 射流效应

4.126. 射流是从承压系统中的泄漏或破裂处喷出的流状流体，沿特定方向以非常高的速度喷出。

4.127. 射流通常来自含有高能压力流体的破裂部件，如管道或容器。对于低能量系统，射流现象可以排除在考虑之外。

4.128. 射流的来源通常被假想是容器或管道的径向或轴向断裂点。由此产生的射流被限制在一个特定的方向上。在径向断裂的情况下，假想射流方向是相对于管道的轴向方向的。在纵向断裂的情况下，假想射流方向是相对于径向方向的。

4.129. 在适当的情况下，应考虑其他可能的射流形式。这种形式的一个示例是气体射流（在第 4.1—4.77 段中还考虑了这种气体点燃的可能影响）。

4.130. 对于每个假想的破口，其位置和大小，射流的几何构型（形状和方向）及其物理参数（如压力、温度、密度）应作为时间和空间的函数进行分析。

4.131. 如果破口产生多个射流，则应考虑射流的相互干扰。对于双端破裂的管道没有约束的情况，应该可以产生两个射流，管道的每一个破口的末端都会产生射流。

4.132. 应考虑射流来源（如甩击）的运动对射流几何构型的影响，以及其他可能的效应（如射流轨迹附近物体引起的效应）。

4.133. 对于射流的形状和其他特性的分析，可以采用适当的、经过核实计算机模式或基于实验数据的简化近似模式，也或其他适当的、正当的保守假设进行保守计算与分析。

4.134. 应考虑到射流对目标的下列效应：机械负载（压力、撞击）、热力学负载（温度，包括相应的热应力和热撞击）和流体的性质（例如由于液态水的导电性可能导致电气设备短路）。还应该评价可能的化学反应，特别是如果喷射出的流体不是水的情况。

4.135. 如果射流非安全重要结构、系统和部件目标的破坏可能导致重大的次生后果，那么对这些目标的效应分析也许就是很有必要的。一个典型的示例是安全壳内的管道绝缘损坏。尽管绝缘材料本身安全并不重要，但在再循环冷却过程中，来自绝缘材料的碎片可能会堵塞应急堆芯冷却或安全壳喷淋池过滤器。相关建议见原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-53 号《核电厂反应堆安全壳和相关系统的设计》[10]第 4.84 段和第 4.85 段。

## 防止管道断裂

4.136. 据推断，在一些国家对高能管道采用了非常高的、与压力容器类似的质量标准，可以将管道破裂风险降低到很低的水平，从而可以有效地将其排除在进一步考虑之外。也确实有一些国家确定了标准，将某些管段排除在断裂分析之外（例如，见参考文献[11]）。

4.137. 对于满足管道断裂排除标准的部位，仍然可以假设出现泄漏（而不是完全断裂）。<sup>11</sup> 为了确定泄漏的大小，应进行断裂力学分析。或者，可以假想一个对应于流动截面 10% 的泄漏尺寸大小的裂缝。检漏系统的灵敏度应足以检测出这种尺寸裂缝的最小泄漏。

4.138. 对于所有管道，如果采用了安全措施，尤其是在设计、制造、建造和监视等方面的措施（如对管道泄漏、管道的振动和疲劳、水化学、松动部件、

---

<sup>11</sup> 这适用于已接受漏前破概念的国家。

管道位移以及管道侵蚀和腐蚀的在役检查或监控),管道断裂的可能性应该可以大大降低。

## **缓解管道断裂的后果**

### **缓解甩击的后果**

4.139. 核电厂管道系统中发生严重管道破裂的可能性一般被认为是很低的。但是,应该使用管道约束来限制管道的运动,因为如果管道出现断裂,大可能会影响安全重要结构、系统和部件。

### **缓解射流的后果**

4.140. 如果高能管道就是出现断裂了,射流的产生就是无法避免的,防止喷射产生的唯一方法是防止管道出现断裂。但是无论如何,都应该考虑在时间和/或空间上限制射流的方法。例如,安装在故障点上游的阀门和安装在故障点下游的止回阀可以在射流发生后迅速停止射流。在故障的管道周围应使用坚固的屏蔽物(例如混凝土墙)来限制射流的范围。

4.141. 在可行的范围内,应使用抗射流撞击的涂层和绝缘材料,以限制射流产生的碎片数量(因为这种碎片在某些条件下会安全系统的性能提出挑战)。

### **特殊的射流危害因素**

4.142. 除了射流对目标的直接撞击(局部效应)外,从泄漏或断裂处排放的流体也可能对房间内的一般环境条件产生重大影响。除此之外,影响将取决于射流的持续时间和射流参数以及房间的尺寸。如果这构成一个问题,那么一般环境参数及其对结构、系统和部件功能的影响也应进行分析,并应纳入产品的环境鉴定过程。

4.143. 在设计电厂时,应该考虑作用在整体结构或部分结构(如,墙壁)上的压差,例如,由于断裂端排放的蒸汽。当受到一定压力或温度时打开的泄压板和门是可以用来缓解这种效应的示例。

4.144. 对直接射流撞击的防护类似于对飞射物的防护。防护措施的设计应既能应付飞射物又能应付射流,也能应付绝大多数的内部危害。

## 内部水淹危害

### 内部水淹危害的识别与表征

4.145. 只要超过了给定区域的排水能力，内部水淹可以由任何导致液体（通常是水<sup>12</sup>）排放的事件引发。水淹可能会影响多个结构、系统和部件（即那些在设计上不能承受淹没或暴露于喷雾的结构、系统和部件）。虽然本小节中的导则仅限于内部事件引发的水淹，但外部事件（如地震、外部洪水）也可能导致或加剧内部水淹。

4.146. 水淹不仅意味着在房间地板上形成水池，还意味着在较高的位置上的水的聚集。例如，水（由喷雾或冷凝蒸汽产生）可能会聚集在电缆桥架中，即使它们位于地面以上。位于这样一个地方的设备也应该被认为受到水淹的影响。此外，聚集在这些托盘的水可能会被排放到其他地方，而在那里，水的存在也是不可接受的。

4.147. 应考虑电厂工作人员采取的行动可能会导致水淹（如维护活动）。

4.148. 可能导致水淹的事件如下：

- (a) 一回路或次生冷却剂系统泄漏或破裂；
- (b) 应急堆芯冷却系统泄漏或破裂；
- (c) 服务用水系统中的泄漏或破裂；
- (d) 消防系统的泄漏、断裂或误操作；
- (e) 维护过程中的人为错误（如误开阀门、通孔或法兰打开）；
- (f) 管道系统的泄漏，如生活用水、循环水或冷凝水系统，或从外部通过排水系统进入电厂的水。

4.149. 应系统地识别所有可能的的水淹危害。一种方法是列出结构、系统和部件然后识别所有可能的的水源（包括其他房间的水源），并系统地识别水淹传播途径。这一标识应由设计图和房间演练支持并核实。三维模式也可用于核实和确认目的。

---

<sup>12</sup> 本部分涉及水基驱油；然而，同样的考虑也适用于现场的其他液体，如果它们的数量和位置足够可能导致水淹。可能的示例包括燃料、化学品和灭火材料。

4.150. 对于所有可能的淹设计假想方案，水位随时间的函数不仅要包括含有水源的房间或电厂区域，而且要包括水可能扩散到的所有房间或电厂区域。应该考虑总的水源存量、排放率和隔离手段。还应考虑可能出现的延绵不断的水体涌入。淹没水流可能穿过的典型通道包括：管道、排水口、墙或地板上的开口、楼梯井、通风口和电梯。门也是淹没水流传播的重要通道。

4.151. 如果门的设计不能承受可能发生的静水压力和/或水动力负载，则淹没水流可能会在门下穿过或损坏（例如扣住）门，直至门的失效。门的失效应以保守的方式建模。<sup>13</sup>

4.152. 运行经验表明，通风管道可以将水排到较低的标高。因此，在设计中应考虑通风管道对淹没水流的传播。影响的示例包括，在有通风出口或可能失效的通风管低点的房间中，可能出现电气设备的喷水或设备的淹没。

4.153. 如果与水箱或水池相连的管道破裂，则应在设计中考虑虹吸效应，这会增加排水量。

4.154. 如果碎片可能堵塞排水孔会导致更严重的情况，就应该在设计中考虑到这一点。在使用容积—高度关系确定水位时，应使用房间的竣工状态（包括房间内设备的体积）。

4.155. 如果液体是水，通常认为应主要关注电气设备，如果受到淹没或喷淋，这些设备通常会被假想为故障，除非他们通过设备鉴定能承受这些工况。电缆一般假想不受淹没的影响，但是，连接点（例如接头）暴露在水中时应假想故障，除非它们通过鉴定能承受这些工况。

4.156. 有些机械设备可能抵抗水的直接效应，但依赖于电力支持设备（例如动力、仪器仪表、控制）。在这种情况下，应该考虑淹没对支持设备的影响。此外，浮力的影响应该考虑，因为机械设备可能不是为了承受向上的力而设计的。

---

<sup>13</sup> “保守性”取决于门的失效是有利的（例如，允许水从安全重要结构、系统和部件流出）还是不利的（例如，允许水流向安全重要结构、系统和部件）。

## 内部水淹危害的预防

4.157. 水淹可由容器、水箱或管道泄漏或破裂引起。因此，旨在减少管道泄漏或破裂可能性的设计规定（见第 4.136—4.138 段）也应该被用来减少水淹的可能性。

4.158. 减少人为失误应该被作为减少水淹可能性的一个重要途径来考虑。

4.159. 在可行的情况下，应该使用工程设备（例如传感器），防止储罐装得过满的，以限制储罐溢出引起内部水淹的可能性。

4.160. 电缆桥架的设计应可以限制水流的传播。这样做的设计特点的示例包括排水孔和水密渗透。

4.161. 在最大可行的程度上，水密渗透应由耐退化材料制造，并应安装在便于视察和维护的位置。

4.162. 如果密封和垫片的失效可能导致水淹事件（如冷凝器密封），则这些产品应由耐退化的材料制成，并且足够的坚固以承受预期负载（如水锤、地震事件、火灾、水动力负载）。密封或垫片失效所导致的水流流量应根据特定情况保守地确定。

4.163. 设计功能的运行，如安全壳喷淋系统、消防系统或（如果考虑了堆芯捕集器）反应堆腔体淹没系统也许会产生水淹。应该对这样的淹没水流在设计中充分考虑（例如，仪器仪表和控制系统的某些部件应相应地符合安全壳喷淋工况的鉴定要求，某些门和墙应符合消防喷淋的防水鉴定要求）。这种由于核安全措施导致的淹没通常不被视为内部危害，然而，由于其类似的性质，应将其列入内部水淹危害分析的系统中。

## 内部水淹的缓解和内部水淹的效应

4.164. 内部水淹的缓解，可部分地通过对电厂布局的设计选择来实现。这包括安全重要相关的结构、系统和部件的冗余部分的实物分隔，以及将易受水淹影响的结构、系统和部件布置在高于假想水淹水位的标高上。例如，结构、系统和部件可以位于高于最大假想水淹水位的基座上。如果不可能，可以使用水淹屏障（在部件周围的建立墙或进行完整的密封）。还应确保（通过一

切现有手段)尽快缓解意外水淹,并防止水淹不利地蔓延到其他地区(例如通过适当的阈值)。可用于缓解水淹泛滥的方法包括:

- (a) 正当的设计(例如,非能动防水淹设施,排水管道、水泵和水密门上的隔离阀,以及潜在危害管道上的隔离阀);
- (b) 探测系统(如水淹警报);
- (c) 正当的工作程序(运行和/或应急程序)。

4.165. 如果假想电厂工作人员采取了行动(例如隔离水源),则应确定检测、诊断和缓解事故后果所需的时间。必须对需要采取行动的地区的环境工况进行评价,并应将任何关于时间的假设纳入评价之中。在确定人为错误概率时,也应考虑上述因素。在确定性方法中,应对最受限的单一故障设定检查、诊断或缓解措施(如隔离)所需的时间,考虑到由于水淹造成的环境工况,电厂工作人员完成这些措施的时间应该是保守的。

4.166. 由于某些水淹检测手段(如水池水位)不能提供泄漏或破裂的精确位置指示,因此应采取设计技术措施,帮助电厂工作人员识别内部水淹的来源和/或自动缓解水淹。例如,如果检测到指示水淹的环境条件(例如,升高的室温、过大的流速),则自动关闭阀门和利用闭路电视可视化地监控水淹情况。应为电厂工作人员提供适当的程序和培训。

4.167. 如果水淹速度非常快(例如在一个大水箱完全破裂的情况下),应该考虑和分析内部可能形成的水淹波浪和效应。波浪会使局部水位显著高于估计的稳态水位,因此需要进行动力学分析。这种分析应评价波浪对结构、系统和部件施加的机械负载和漂浮物对结构、系统和部件的潜在影响。

4.168. 排水管道是防止水淹的一个重要的保护设施,因为它们限制了水淹状态下水位的上升速度,为电厂工作人员采取适当的行动提供了时间。排水系统的设计容量(即排水率)应与每个场区的内部水源相适应。在可行的范围内,排水系统的设计应便于视察和维护,以限制堵塞的可能性。冗余的排水部分应该是独立的,而不是排入公共集管。应采用管理控制措施,确保不会将可能堵塞排水管道的临时设备(例如塑料布)贮存在那些一旦发生水淹时就可将其冲到排水管道的地方。设计技术规定(例如装有止回阀的排水管道)应确保一个区域的水不会倒流,导致另一个区域发生水淹,从而损坏安全重要结构、系统和部件的隔离。

## 特殊水淹危害因素

4.169. 除了本小节所述的水淹（如喷淋、淹没）的直接撞击外，将水排放到房间内也会对通用环境工况产生重大影响。在设备的鉴定过程中应考虑这些效应（例如湿度、放射性水平、温度的增加）。应特别考虑溶解氢和除水以外的流体（例如用于消防的化学品）在水中的潜在排放。

4.170. 设计应考虑到内部水淹期间，水可能会对淹没的结构、系统和部件（例如门、墙、地板、穿透物）施加静水负载。如果没有正确的处理，可能会导致结构失效，以及物体坠落或重物坠落造成的损坏。它还可能导致安全重要屏障和门的破坏失效。

4.171. 电厂的设计应确保在水淹事件中排放的可能受到污染的水不会传播到电厂地表和/或地下水中。实现这一点的方法是确保厂房中低于假想的最大水淹水位以下的部分都是密封的。

4.172. 在严重事故期间，长期用于从安全壳中排出热量的系统泄漏必须予以考虑。这类系统应能被隔离，排放的任何放射性水和气体应通过适当的手段加以限制。特别是，应具备符合相应环境条件的通风系统。

## 重物坠落

4.173. 厂房倒塌或物体从高处坠落，可能是内部危害或外部危害如地震或强风的次生效应。需要作为引发内部或外部危害的潜在后果进行评定。反过来，坠物会造成随之而来的内部危害。附录 I 中给出了关于这些组合的危害序列的指导。第 4.174—4.186 段集中于没有必要引发其他危害的重物坠落。

### 重物坠落的识别与表征

4.174. 坠落最有可能发生在电厂设备吊装以进行维护期间或者燃料装卸过程之中。如果电厂设备中的重物位于很高的标高，则应评价与此种设备坠落相关的可能危害，除非发生此种事件的可能性可以忽略不计。应评定重物坠落的后果，因为这些后果可能在几个方面安全构成风险，包括以下方面：

- (a) 对燃料的撞击（放射性排放风险和潜在的临界风险）；
- (b) 安全系统设备的撞击（系统故障的风险）；

(c) 安全重要结构的撞击（例如燃料水池完整性丧失和放射性物质排放的风险）。

4.175. 原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-62 号《核电厂辅助系统和支持系统的设计》[12]和原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-63 号《核电厂核燃料装卸和贮存系统的设计》[13]分别就架空吊车设备和燃料装卸设备的设计给出了建议。此外，原子能机构《安全标准丛书》SSG-67《核装置抗震设计》[14]和《安全标准丛书》SSG-74《核电厂的维护、试验、监视和视察》[15]分别就这些设备的抗震设计和鉴定以及维护、监视和在役检查提出了建议，这些建议加在一起将使起重系统在运行中具有较高完整性。根据这些出版物的建议，将减少因重型设备坠落而引发内部事件的可能性。

4.176. 应当分析坠落对象的性质和坠落的原因，以便确定其可能的方向（例如坠落、倾斜或摆动）、大小、形状和能量，以及可能安全造成的后果。<sup>14</sup>

4.177. 为了确定潜在的后果，与燃料装卸相关的重物坠落可按桶或盖、转移桶和多用途密封桶或罐、燃料和燃料格架以及电动和手动工具等类别加以考虑。燃料装卸过程中的坠落构成了许多不同的假想方案，每一种假想方案都需要在潜在的放射性后果和对结构、系统和部件的潜在影响的背景下加以考虑。

4.178. 另一种潜在的坠落类型与放射性废物容器的移动相关。一般来说，这些容器可能含有比燃料桶活度水平低的材料，但容器也不太坚固。在吊运这些放射性废物容器时，应遵循防止坠落和限制后果的一般原则（即在提升设备的质量、路线的选择和控制方面应防止错误的操作）。

## 重物坠落的预防

4.179. 功能设计要求通常主导着这类设备的实物位置。如果在功能上需要容忍重型设备和目标之间的接近，可以提供足够的设计措施，如起重机上的冗余电缆或联锁设备，以减少故障的可能性。参考文献[16—19]提供了高完整性和单一故障停止起重机的设计导则。

---

<sup>14</sup> 在某些状态下，用现实的假设对下列情况进行评定：反应堆压力容器封头在反应堆压力容器上的坠落、反应堆压力容器封头上的反应堆腔盖板的坠落（当容器上方的板被拆除时）和反应堆腔盖板在反应堆腔底板上的坠落。

4.180. 在可行的情况下，电厂布局应有利于架空起重设备和运输物项的安全移动。在某些情况下，可能必须在排除了安全重要结构、系统和部件的分离区域里吊运电厂设备。这种情况下在结构、系统和部件附近吊运重物时应格外小心。

4.181. 防止重物坠落的措施应包括起重设备的分类、设计措施和管理措施，具体如下：

- (a) 根据危害分析的结果对起重设备进行分类，该分析评价了假想重物坠落的后果；
- (b) 设计措施：
  - (i) 第一级纵深防御的一般考虑因素，包括保守的设计和材料选择、高质量的建造，以及在建造和运行中的监视；
  - (ii) 起重机分区和保护方案，根据实际情况包括监控起重物的重力传感器，以及联锁设备和跳闸设备。
- (c) 管理措施：
  - (i) 程序控制，以防止超载，或负载的误操作（例如，负载卡住、负载滞留、负载摆动）；
  - (ii) 相关确认提升适当高度和提升路线的相关控制措施，以及对执行这些措施的监管活动（例如额外监管）。对起重机进行本地控制也有好处，这样电厂工作人员就可以确认是否有障碍或锁定，以及是否有足够的空间适合起重；
  - (iii) 定期视察和维护起重机（例如其联锁设备、电缆和制动器）和相关的起重设备（套索和吊索、吊带和钩环及相关物项）。

4.182. 防止燃料装卸过程中的重物坠落主要是通过保守的设计和适当的管理措施来实现的。燃料装卸布局和升降路线的设计应避免安全重要结构、系统和部件构成潜在坠落风险。

4.183. 电厂布置的设计目标应是保护贮存的燃料或其他安全重要物项不受重型设备坠落的风险，以及其他在特定情况下，可能导致严重后果的设备坠落的风险。

## 缓解重物坠落的效应

4.184. 通过在电厂的特定运行模式（如停堆模式）下，有计划地开展负载移动和提升，可以显著降低重物坠落的风险。这种计划本身也可作为一种预防措施。

4.185. 在某些情况下，通过采用台阶式方法，使升降通过一个中间过渡设备进行，如通过使用负载跟随平台或通过升降过程中部署可变形结构，可以缓解重物坠落的后果。保护阻尼器也可以安装在重物上。例如，这样的保护性阻尼器用于燃料桶。

4.186. 对于与燃料装卸相关的起重机负载，如燃料装运桶，应特别注意，因为它们的质量很重。对影响燃料贮存水池的坠落以及可能产生的后果应特别加以控制。包括可能燃料贮存水池的损坏或水池周围板的损坏令人担忧的效应。这些效应应被视为可能损害贮存水池的完整性或渗漏性。应考虑的另一布置实践是将燃料桶的装载限制在远离燃料水池本身和其他目标区域的位置（见 SSG-63[13]）。

## 电磁干扰

4.187. 电磁干扰是一个术语，用来表征由电磁传导或电磁辐射引起的一些潜在的干扰机制，这些机制可能会影响电气或电子设备。如果干扰在高频或射频范围内，有时也称为射频干扰。在本“安全导则”的上下文中，电磁干扰被用作通用术语。

4.188. 电磁干扰可分为内部干扰（例如，由正常运行或故障中的设备，所带来感应或辐射干扰）或外部干扰（例如雷电、太阳耀斑的辐射或由其他实体运行的位于场址边界以外的设备的辐射）。本“安全导则”只涉及内部电磁干扰危害。

4.189. 在许多情况下，设备的设计和制造标准都涉及到对电磁干扰的预防和设备承受电磁干扰的能力。关于这些方面的进一步建议见 SSG-39[6]和 SSG-34[7]。

## 电磁干扰危害的识别与表征

4.190. 应查明电磁干扰的潜在来源，并评定其可能产生的影响。在核电厂营运组织管理的范围内，电磁干扰的主要来源包括电动机和发电机电刷部件，以及开关柜、断路器或熔断器运行时的故障电流间隙。电场也可以由无线电发射机引起。即使闪光摄影也偶尔影响到敏感的控制和保护设备。有大量的运行经验反馈可以帮助设计人员识别潜在的电磁干扰机制或类似的故障。进一步的建议见 SSG-39[6]。

4.191. 其他潜在的电磁干扰来源包括一些维护或建造活动，例如，带入核电厂的便携式弧焊设备和便携式无线电通信设备，以及用于地面勘测的探地雷达。这些潜在的电磁干扰源也应进行识别，并考虑其可能产生的影响。

4.192. 识别潜在的电磁干扰应考虑到由于故障造成的潜在干扰源，例如电缆绝缘老化造成的电气故障或变压器套管绝缘子击穿所导致的故障。

4.193. 在可能的情况下，识别过程还应包括电磁干扰源的位置。在评定干扰对电厂的影响时，这些都是相互关联的。

## 电磁干扰危害的防护

4.194. 核电厂设计应包括防止和/或防护措施，以应对电磁干扰的影响。应进行评定，以确定现场的任何电磁干扰源是否会导致核电厂系统和部件，特别是仪器仪表的故障或损坏。在电厂的运行寿期内，新电磁干扰源的出现和现有电磁干扰源的变化都应得到监控和分析。

4.195. 电磁干扰应受到限制，以确保设备的功能。SSG-39[6]提供了将对仪器仪表和控制部件或系统的电磁干扰影响降至最低的建议。这包括一些技术，例如：

- (a) 抑制来源上的电磁噪声；
- (b) 分离和隔离仪器仪表和控制信号电缆与电力电缆；
- (c) 屏蔽设备和电缆的外部电磁干扰和电磁辐射；
- (d) 过滤电磁噪声避免敏感电子电路与其耦合；
- (e) 中和或隔离电子设备与地的电位差；

(f) 电气、仪器仪表和控制设备、滚道、机柜、部件和电缆屏蔽的适当接地。

采用这些技术可以确保仪器仪表和控制系统与本地环境中的电磁干扰源之间的美好兼容性。

4.196. 如果要进行试验以证明设计提供的电磁干扰防护的有效性，则被试验设备的状态应是这样的，即，即使在设备不当运行时，也不会安全产生不利影响。试验应使用典型的运行参数（例如输入信号、输出信号、环境条件、辅助电源、电气特征）进行。

4.197. 对可能靠近敏感设备的移动干扰源的控制应使安全重要结构、系统和部件不会受到这些移动干扰源的不利影响。这可以包括一些措施，如禁区<sup>15</sup> 或管理控制措施。应通过实物控制（例如电磁干扰探测设备）、行政管理来加强禁区控制（例如出入管理、警告提示、工作控制系统）和良好的安全文化（培训、意识、自我反省、质疑态度）。强制禁区的选择将取决于系统所需的可靠性水平。

## 缓解电磁干扰危害的影响

4.198. 应了解单一部件故障对系统整体性能或整体安全功能的影响。

4.199. 与其他内部危害一样，例如冗余和多样性，以及实物分隔和隔离，都是良好的设计原则，它们可大大减少电磁干扰危害的泛在性。在许多情况下，在系统或子系统布置设计中的小心谨慎，可能会对系统功能可能的整体后果产生重大影响，从而安全功能的执行产生重大影响。

## 特定电磁干扰危害考虑因素

4.200. 本“安全导则”只考虑电磁干扰作为内部危害的“暂态”效应。长期电磁干扰有可能产生长期影响，即通过涡流效应诱发振动、疲劳或电化学腐蚀。这些可能会对部件和系统长期的完整性产生影响，但也假想这些效应将由旨在维护电厂状况的过程来管理。

---

<sup>15</sup> 禁区是由安全重要结构、系统和部件安装点与允许启动移动式电磁辐射源之间允许的最小距离界定的。

## 电厂内有害物质的排放

4.201. 有害物质有可能使电厂、物项或系统故障，或影响执行安全重要行动的工作人员。在本“安全导则”排放贮存的有害物质或在场址边界内产生有害物质的可能性被视为内部危害。来自场外的有害物质或来自营运组织控制之外的有害物质排放应被视为外部危害（例如，道路罐车事故中导致的氯排放）。然而，本“安全导则”的一些建议也可能与此类设计考虑相关。

4.202. 安全分析中所考虑的危害化学物质的效应应包括由于危害化学物质的物理化学性质所导致的影响（如爆炸、氧化、易燃）和威胁健康的特性（如有毒、有害、腐蚀性、缺氧、高温）。

## 电厂内有害物质排放危害的识别与表征

4.203. 应评审场址边界内的有害物质清单（即数量、物理和化学形式、类型、贮存安排），以确定哪些物质如果排放，可能安全重要系统部件所产生的效应，或对工作人员造成的不利影响，以及可能影响其执行安全重要行动的能力。

4.204. 应通过危害识别程序确定可能排放的有害物质清单。这些潜在的排放可能来自各种不同的来源，例如：散装贮存的气体、瓶装气体、挥发性液体、水化学中使用的化学品，以及可能混合并形成次生产物的化学品排放，例如化学云气体。

4.205. 有害物质清单应完整，并应包括分包公司为维护目的而带到现场的任何此类物质。

4.206. 应考虑危害对电厂工作人员的潜在影响。包括有毒和窒息效应，可能使电厂工作人员致残或受到其他损害。应注意确保有害物质的排放不会妨碍电厂工作人员控制事故或安全关闭电厂并将其保持在安全状态的行动。

4.207. 还应考虑危害对电厂结构、系统和部件的潜在影响。例如，沉积导致仪器仪表和控制设备的电触点短路，以及柴油发电机吸入可能导致其无法运行的不可燃气体。此外，某些电厂系统可能受到气体云冷却效应的影响。还应识别潜在的快速或短期腐蚀影响。

## 防止电厂内危险物质的排放造成危害

4.208. 防止危险物质排放的措施包括关于最大限度地减少放射性排放可能性的第一级纵深防御的一般考虑，包括保守的设计和材料选择、高质量建造、对建造和运行进行监视。与危险物质排放相关的特点措施包括储罐和分配系统的设计及其在使用中的维护。

4.209. 如果电厂系统或部件需要对气体或蒸气云的出现具有可复原性，则应遵循相同的方法（即保守的设计和材料选择、高质量的建造以及建造和运行中的监视）。在这种情况下，靠近潜在泄漏点的电缆和电气控制柜的设计和布置应设法尽量减少因气体、水、蒸汽、烟雾或危险物质的泄漏而造成的损害（符合其他安全要求）。

4.210. 与其他内部危害一样，冗余和多样性，以及实物分隔和隔离，是良好的设计原则，可以对危险物质排放所造成的危害发展产生重大影响。在某些情况下，通过仔细布置安全系统（即与危险物质相关的贮存安排），可以在很大程度上消除令人担忧的情况。

4.211. 在必要时，防止危险物质排放的危害应包括对电厂区域的通风系统进行控制，这些区域需要采取行动来实现安全功能，特别是在控制室。控制系统应关闭通风入口，使该区域进入再循环模式，从而防止对执行安全重要操作的电厂工作人员造成丧失能力的影响。关于通风系统设计的建议见SSG-62[12]。

4.212. 如果化学品的排放可能发生混合并形成次生危害产物，预防措施应包括对此类化学品的接收和贮存进行行政控制，并提供工程方面的规定，例如，为酸和碱输送提供不同的软管接头。

## 缓解与电厂内危险物质排放相关危害的后果

4.213. 冗余和多样性，以及安全重要结构、系统和部件的实物分隔和隔离，这些良好的设计原则，也可用于缓解和缓解危险物质排放所引起相关危害和影响。具有良好隔离或分离能力的冗余系统应具有足够的冗余子系统，不受危险物质排放的影响，即使某些系统部件出现故障也能成功地实现其安全功能。

4.214. 将厂房和设备布置在厂房内的效果，可能意味着气体云在大量进入厂房之前已经吹散或浓度降低，这可能会影响电缆和隔间等设备的当地环境。

4.215. 事故管理可能需要提供个人防护设备，以方便电厂工作人员逃离有可能变得无法驻留的环境，进入必须进行重要操作的电厂区域，或继续在危害位置进行其他操作（例如，在主控制室的电厂工作人员）。

### **有害物质排放的特定考虑**

4.216. 本“安全导则”只考虑电厂内有害物质排放的“暂态影响”。但较小的持续排放也可能造成长期影响，例如腐蚀影响。这些可能会对部件或系统的长期完整性产生影响，但它应该由旨在维护电厂状况的程序来管理。



## 附录 I

### 危害组合

I.1. 内部危害和外部危害都可以引起其他危害。例如，地震事件（外部危害）可能导致管道破裂或电气设备损坏并引发火灾（内部危害）。同样，重物坠落（内部危害）可能会导致管道破裂而导致内部水淹（另一种内部危害），也可能会通过损坏机械设备而产生飞射物（内部危害）。

I.2. 在电厂设计中应考虑这些组合危害的影响（即由于一个始发事件后果而导致的两个或两个以上的危害，包括一个危害）。应考虑的组合取决于场址的位置和电厂的总体设计。包含各种外部危害（自然灾害，如海啸、暴风雪和沙尘暴，以及人为引发的爆炸）的组合并不适用于所有场址。因此，确认一套适用于所有电厂的危害组合是不可行的，也是不必要的。

I.3. 建议采用基于行为的方法<sup>16</sup>。无论采用何种特定方法或标准，这些办法都应是全面和系统的。目标是确定哪些危害组合需要考虑，哪些设计功能是解决这些危害组合所必需的。除了筛选出危害组合，为了进一步深入的考虑，还应明确界定和记录筛选危害组合的基础。

I.4. 原则上，以下三类危害组合应予考虑：

- (a) 后续事件：一个始发事件（例如：一个外部或内部危害）导致另一个事件（例如：内部危害）。例如，地震事件和随后的内部爆炸，内部火灾和随后的内部水淹；
- (b) 关联事件：两个或两个以上的事件，其中至少有一个是内部危害，是由于一个共同的原因而发生的。共同的原因可以是任何预计事件，包括外部危害，或者可能是由于不可预料的相互依赖造成的。由这个共同因联系起来的两个或两个以上的事件有可能是同时发生的<sup>17</sup>。例如，

---

<sup>16</sup> 以行为指引的办法并不规定必须采取的特定步骤，而是界定预期的结果和明确、客观和可衡量的标准，以确定是否达到了这一结果。如果达到预期的结果，可以使用各种方法。

<sup>17</sup> 在这种情况下，“同时”并不是指危害完全同时发生，而是指第二种危害在前一种危害的影响完全缓解之前发生。

海啸是导致外部洪水、内部水淹和内部火灾三个潜在关联事件的共因。电磁干扰是导致电厂停电和内部火灾这两个关联事件的共因；

- (c) 无关（独立）事件：始发事件（例如：外部或内部危害）与内部危害独立（但同时）发生，没有任何共因。例如：外部洪水和独立的内部爆炸，以及地震事件和独立的内部火灾。

I.5. 应使用危害组合顺序来确定危害的负载和大小、持续时间以及其他危害发生的顺序。对于不相关的（独立的）事件危害，在前一种危害的影响完全缓解之前，如果第二种危害有足够的可能性发生，应采用识别程序以包括所有可预见的独立发生的危害。关联事件危害通常是由相同的基本故障或其他共因引起的，而且发生的频率与因果关系相关。后续事件危害很有可能发生在与初始危害相同的频率上，但也有可能发生在较低的频率上，这取决于导致后续危害的事件的进展。

I.6. 危害识别过程可以产生一长串潜在的组合清单；因此，应该使用务实的办法。虽然可以假想涉及两个（甚至更多）同时发生危害的组合，但还是应制定筛选标准，以确保清单代表一套可信和正当的电厂危害挑战。筛选标准可以是确定性的，也可以是概率的，或者两者的结合。筛选标准的示例包括：

- (a) 事件组合不可信；
- (b) 事件组合，即使是可信的也不会导致超出设计中已经假想工况。

I.7. 危害识别过程的预期结果是对电厂设计中应考虑的危害组合的所有独特效应的清晰的理解。例如，在内部水淹的情况下，如果由重物坠落或飞射物撞击造成的房间最大水淹水位超过了由管道破裂造成的假想水淹水位，则可能需要额外的设计措施。另一方面，如果分析表明，现有的危害分析（基于管道破裂）预测水淹水位已经超过飞射物或重物坠落可能造成的水淹水位，则不需要额外的设计措施。

I.8. 对于每个已识别的危害组合序列，分析还应考虑在承受到了各种危害损坏之后，安全重要结构、系统和部件（包括危害屏障）的所有性能恶化或物理损坏。例如，对于导致飞射物和随后水淹的管道故障，应分析危害屏障承受水淹造成的静水负载的能力时，还需要考虑后续或同时发生的危害

所造成的任何其他损害（例如，压力部件的故障，可能导致管道甩击、射流和蒸汽压力对屏障或其他安全重要结构、系统和部件的效应）。

I.9. 在考虑危害组合的可能性时，应注意初始危害可能使电厂进入一种状态，在这种状态下，后续的危害可能比假想的正常频率更有可能发生。

I.10. 即使危害发生在电厂的不同区域，或者发生的时间稍有不同，但组合的危害也可能产生一种挑战。例如，开关柜房间的火灾可能会使水淹隔离设备故障。即使水淹发生在稍后的时间或不同的房间，这也只会产生一种挑战。

I.11. 经过筛选后，可以选择一些可信的危害组合，但仍需根据特定验收标准进行评定。

## 附录 II

### 内部火灾的详细导则

#### 火灾危害分析

II.1. 应在确定的基础上进行火灾危害分析，并做如下假想：

- (a) 只要有固定的或瞬时的可燃物存在，就应假想可能发生火灾；
- (b) 在任何一个时间点上，只能发生一次火灾。如果确有必要，随之而来的火灾蔓延应被视为单一事件的一部分；
- (c) 无论电厂的正常运行状态，也无论电厂是处于运行状态还是关闭状态，火灾都是假想的。

II.2. 如附录 I 所述，火灾危害分析应考虑火灾和其他事件的任何可信组合。

II.3. 同时发生在不同防火分区的独立火灾，特别是发生在多机组场址的火灾，无需在消防手段设计时专门考虑，然而，在火灾危害分析中，应考虑到火灾从一个机组蔓延到另一个机组或蔓延到场址的另一个装置的可能性。

II.4. 火灾危害分析应具有以下作用：

- (a) 确定房间或厂房内火灾负载（固定和瞬态）和潜在火源的类型和数量，以及位置和分布；
- (b) 识别安全重要物项并确定防火分区中各个部件（如控制或电力电缆）的位置；
- (c) 安全重要物项分别分析火灾的预期发展和后果。分析方法在应用时的假设和限制应该明确地加以说明；
- (d) 确定防火屏障的必要的耐火等级。特别是那些确定防火分区边界耐火等级的火灾危害分析；
- (e) 确定实现安全防火所必需的非能动和能动防火手段；

(f) 确定需要额外防火隔间或防火保护的状态，特别是在共因故障的情况下，应确保在假想火灾期间和之后，安全重要物项的基本功能不应受到损害。此外，在那些不可能有防火分区的场区，应使用火灾危害分析来确定分隔火灾单元所需的非能动和能动防护手段的范围（火灾影响法）。

II.5. 应评价火灾和消防的次生效应，以确保这些效应不会安全产生任何不利影响。

II.6. 关于火灾危害分析准备工作的详细指导见参考文献[20]。

II.7. 火灾危害分析应以火灾概率安全评定进行补充，概率安全评定已被许多核电厂应用于火灾风险的识别和排序。概率安全评定也可用于设计阶段，为电厂布置和消防系统的确定性设计提供决策支持。关于使用概率安全评定的建议见原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-3 号《制定和实施核电厂一级概率安全评定》[21]。

## 防火屏障

II.8. 核电厂防火屏障的总体目的是在一个空间（例如防火隔间）周围提供一个边界，该边界具有经证明的可承受和控制预期火灾的能力，而阻止火灾蔓延到防火屏障另一侧，那些未暴露在火灾中的材料或物项，或以其他方式对其造成直接或间接损害。防火屏障被期望独立于任何消防行动来执行这一功能。

II.9. 防火屏障的耐火性能表征为在火灾条件下的稳定性、完整性和绝热性。相应的物理标准如下：

- (a) 机械阻力；
- (b) 承受火焰、热气体和可燃气体的能力；
- (c) 符合要求的绝热能力，即在规定的时间内，被保护面的温度保持在规定值以下（例如，平均 140℃，最高不超过 180℃）。

对未暴露在火灾下的表面是否有相关的可燃气体排放也应进行核实。

II.10. 根据防火屏障的特定功能及其在火灾中的潜在作用，防火屏障可根据以下三个性能标准进行分类：

- (a) 承重能力（稳定性）：在适当的时间和适当地点，承重元件试样支撑其试验负载，确保试样变形程度、变形速率或两者的同时满足的标准，不被突破的能力；
- (b) 完整性：在不受孔、裂缝和裂隙的影响下，在未暴露的表面上持续燃烧的情况下，一个隔离单元构成的试件在规定的坍塌标准下容纳火的能力；
- (c) 绝热：隔离单元的试件将被保护面的温升限制在规定水平以下的的能力。

II.11. 根据国际标准化组织的标准（见参考文献[22]）或其他相关标准，在第 II.10 段中的每一个类别中，部件的防火等级以“等级”（分钟或小时）表示，该等级对应于进行火灾试验时部件继续履行其功能的时间。

II.12. 防火屏障元件（如墙壁、天花板、地板、门、阻尼器、密封贯穿件）的特定功能（承重能力、完整性和绝热能力）和防火等级值（如 90 分钟、120 分钟、180 分钟），应在火灾危害分析中特定说明。

## 防火通道

II.13. 防火分区是完全被防火屏障包围的厂房或厂房的一部分：包括所有的墙壁、地板和天花板。防火屏障的耐火等级应足够高，可以在不突破防火屏障的情况下，允许发生防火分区内的火灾负载的全部燃烧干净（即全部燃尽）。

II.14. 安全重要冗余物项应放置在单独的防火分区内，以实施第 4 部分所述的隔离概念，同时将它们与高火灾负载和其他火灾危害隔离开来。这种首选方法被称为“火灾包容法”。将火灾限制在防火分区内，以防止火灾及其效应（直接和间接）从一个防火分区蔓延到其他防火分区，从而防止安全重要相关的冗余系统故障。防火屏障提供的隔离功能不应受到火灾或火灾副产品的影响，也不应受到火灾对公共建筑要素的压力影响，如建筑服务设施或通风系统等。

II.15. 由于对防火屏障的任何贯穿都可能降低其整体有效性和可靠性，因此应尽量减少此类贯穿，特别是不同冗余分区之间的贯穿。构成防火屏障和防火分区边界一部分的任何密封通道（如门、管道、舱口、管道和电缆入口密封件），其装置的耐火等级应至少等于防火屏障本身所需的耐火等级。

II.16. 如采用火灾封控方法，则须提供符合要求 17 的消防系统。SSR-2/1 (Rev.1) [1]第 5.16 段所述可以不必满足（另见第 4.30—4.34 段）。然而，应在火灾危害分析确定的火灾负载较大的地方安装此类设施，以便尽快控制火灾。

II.17. 有些设计要求可能会阻止在核电厂的整个设计中完全采用火灾包容法。例如，在以下领域可能会出现这种情况：

- (a) 在反应堆安全壳和某些设计的控制室等区域，在这些区域，安全系统的冗余部分可能位于同一防火分区且彼此靠近；
- (b) 过度利用厂房形成防火屏障，不适当地干扰到电厂正常功能区域，如电厂维护、设备使用和检查的区域。

对于那些不能利用单独的防火分区来隔离安全重要物项的区域，可以通过将物项放置在单独的防火单元来提供保护。这就是所谓的“火灾影响法”。图 1 说明了火灾包容法和火灾影响法的应用。

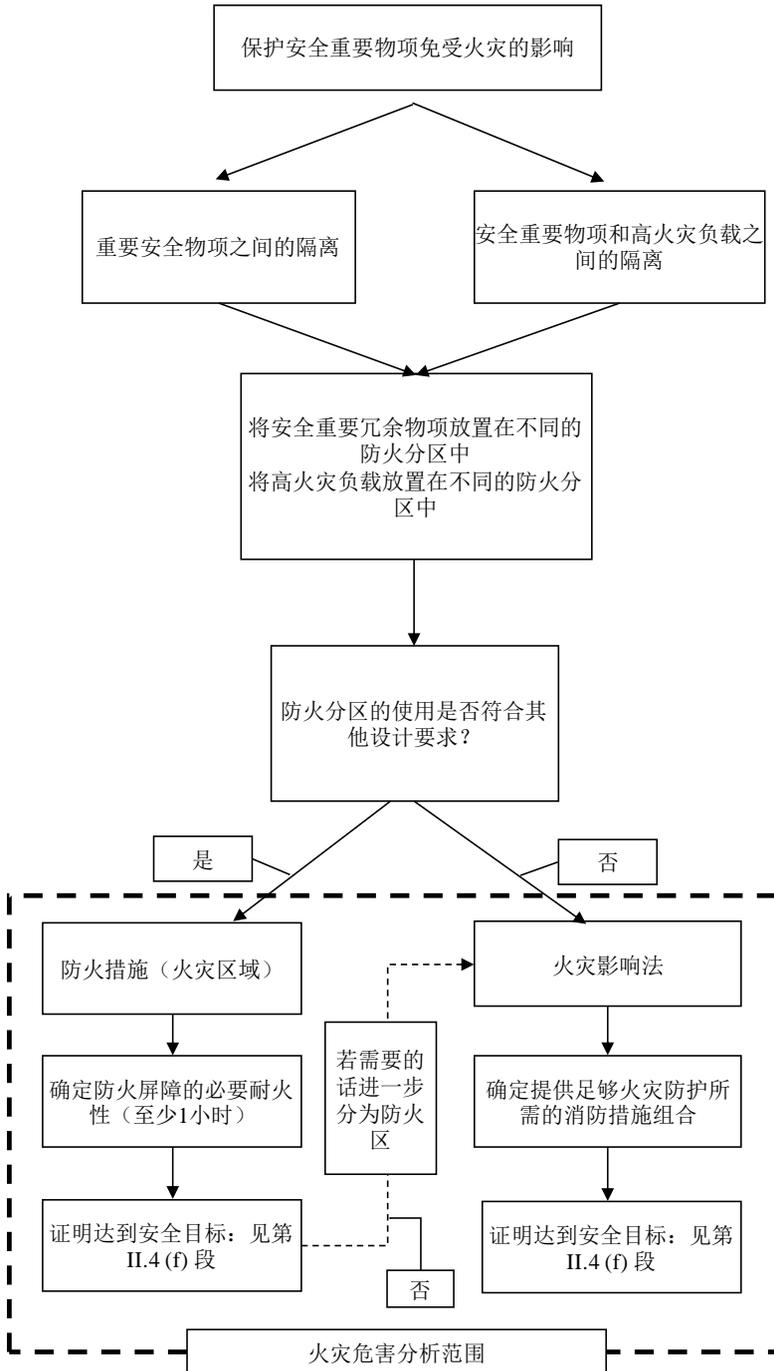


图 1. 火灾封控法和火灾影响法的应用。

## 火灾影响法

II.18. 防火单元是独立的区域，安全重要冗余物项位于其中。由于防火单元可能不完全被防火屏障包围，应通过其他防护手段防止火灾在单元之间蔓延。这些手段包括以下内容：

- (a) 可燃物的限制；
- (b) 通过距离进行设备间隔，间隔之间不可以有可燃物；
- (c) 提供就地的经鉴定的非能动防火保护，如防火罩或电缆包覆层；
- (d) 提供火警探测及消防系统。

II.19. 可以采用能动和非动手段相结合的方式来达到令人满意的保护水平；例如，防火屏障（墙、天花板、地板、门、阻尼器、贯穿密封件和电缆包覆层）的使用及其防火等级应在火灾危害分析中连同消防系统一起特定说明。

II.20. 火灾危害分析应证明，防护措施足以防止位于隔离防火单元中的安全重要冗余物项发生故障。

II.21. 如果距离隔离是防火单元之间唯一的防护手段，火灾危害分析应证明辐射或对流换热效应或火灾副产品都不会危及这种隔离。

## 进出路线和逃生路线

II.22. 考虑到国家建筑法规、消防法规和事故预防规则的要求以及本“安全导则”的建议，需要为工作人员提供足够的通道和逃生路线。理想情况下，每栋厂房至少应提供两条逃生路线。对于每条路线应满足以下通用条件：

- (a) 进入通道和逃生通道应受到保护，免受火灾和火灾副产品的影响。受保护的通道和逃生通道包括通往厂房出口的楼梯和通道；
- (b) 进入通道和逃生通道不能存储任何材料物项；
- (c) 消防器材应按国家规定放置在进出通道和逃生通道沿线的适当位置；
- (d) 进出通道和逃生路线应清楚和永久地标记并易于识别。出入路线和逃生路线的标记应显示最短的安全路线；
- (e) 所有楼梯应清楚标明楼层标高或编号；

- (f) 进出通道和逃生通道应设置应急照明；
- (g) 在危害分析（即火灾危害分析）中定义的所有地点，以及所有逃生路线和厂房出口，都应该有适当的警报手段（如火灾呼救点）；
- (h) 进出通道及逃生路线应能以机械或其他方法通风，以防止烟雾积聚及方便进出；
- (i) 作为进出通道和逃生通道的楼梯应禁止一切可燃材料。为了保持楼梯无烟，可能需要正压通风。建议在通往楼梯的走廊和房间内设置排烟设施。对于高、多层楼梯应考虑楼梯的细分；
- (j) 通往楼梯的门，以及进出通道和逃生通道的门，应该是自闭和自锁式的，并应该朝着逃生方向打开；
- (k) 应提供允许通过气闸快速疏散反应堆安全壳的方法。这些措施应足以应付维护期间和停电期间预计在场的最大数量的工作人员；
- (l) 应为所有出入路线和逃生路线提供可靠的通信系统；
- (m) 所有应急照明系统应随时通电，并应配备不可中断的应急电源。

## 电缆火灾防护

II.23. 大量的有机绝缘电缆是核电厂可燃物的重要来源。在火灾危害分析中，应确定电缆火灾安全重要物项的影响。

II.24. 应采取各种设计方法来限制电缆火灾的重大影响。这些方法包括：

- (a) 保护电路免受过载和短路工况；
- (b) 限制电缆设施中可燃材料的总量；
- (c) 降低电缆绝缘的相对燃烧性；
- (d) 提供防火保护以限制火势蔓延；
- (e) 安全系统中来自不同冗余分区的电缆进行隔离，对供电电缆与控制电缆进行隔离。

II.25. 应采取以下设计方法来限制电缆火灾的重大影响：

- (a) 提供防火保护以限制火灾的传播；
- (b) 对来自安全系统不同冗余分区的电缆进行隔离；

- (c) 在可行范围内，在供电电缆和控制电缆之间提供隔离。如果不能隔离，进行间隔可能是合适的。

II.26. 应注意确保为安全重要物项提供电力的电缆不被敷设到指定的仓储区或其他高火灾危害区域。

## 电缆火灾的控制

II.27. 应控制安装在电缆桥架上和电缆路线内的可燃绝缘材料（如高分子聚合物的绝缘材料）的数量。这些控制措施是非常必要的，以防止火灾负载超过防火分区防火屏障的额定防火等级，并将火灾沿电缆桥架的蔓延速度降至最低。控制应包括对电缆桥架的数量和尺寸和/或其上的绝缘负载进行限制，并应与电缆的燃烧特性相对应。

## 电缆火灾试验

II.28. 不同的国家标准对阻燃电缆的鉴定试验各不相同。但是，电缆的大规模火焰传播试验通常是将垂直或水平电缆样品直接暴露于火源的火焰中进行的。与电缆火灾试验相关的重要可变因素如下：

- (a) 作为火源的电缆总量；
- (b) 电缆布局，特别是带有多个电缆桥架的配置；
- (c) 阻燃性；
- (d) 火灾蔓延范围；
- (e) 空气流量；
- (f) 外壳的热绝缘性；
- (g) 与烟雾形成相关的毒性和腐蚀性。

## 电缆防火

II.29. 在某些情况下，应提供特定的非能动防护措施，以保护电缆免受火灾。这些措施包括：

- (a) 电缆涂层，以减少火灾的发生和延缓火焰传播；
- (b) 电缆包覆层，与其他火灾负载进行隔离，同时与其他系统和/或安全重要物项进行隔离；

(c) 消除火焰并限制其传播。

由于这些措施可能导致电缆过热和电流负载降负荷运行，在确定所用材料的选择时应考虑这些因素。

II.30. 电缆火灾的潜在影响可以通过使用火灾封控方法提供适当的隔离来减少（见第 II.13—II.17 段）。

II.31. 在某些情况下，没有可燃材料介入的实物分隔（单独或结合消防安全措施）就可以提供足够的保护，防止因预设火灾而导致安全重要冗余物项的损坏。但是，不可能规定一个统一的最小距离，在所有情况下都能提供充分的安全隔离，而是应通过分析特定情况来确定这种隔离是否充分。

II.32. 安全系统冗余分区隔离的首选方法应该是火灾封控方法。

## 火灾探测和警报系统

II.33. 火灾探测和警报系统的性质、布局、必要的响应时间及其探测器的特性，包括其多样化，应由火灾危害分析或系统设计的要求确定。

II.34. 火灾探测和警报系统应通过声光警报在控制室提供相关火灾位置和蔓延的信息。必要时，还应在其所在电厂区域设置就地声光警报器。火灾警报信号应该是独特的，以防止它们与电厂中的任何其他警报信号混淆。

II.35. 检测和警报系统应始终正常工作，并应配备不间断的应急电源，必要时包括耐火供电电缆。关于应急电源的建议见 SSG-34[7]。

II.36. 每个探测器的安装位置应保证，由于通风或为控制污染而提供的压力差所导致的空气流动，不会造成烟雾或热能从探测器附近的流逝，从而过度延迟探测器警报的启动。火灾探测器的放置方式也应避免由于通风系统运行产生的气流而产生的杂散信号。在可行的情况下，应通过现场试验来核实这一点。

II.37. 在选择和安装火灾探测设备时，应考虑设备所处的环境（例如辐射场、湿度、温度和空气流量）。如果环境不允许探测器放置在受保护的附近区域（例如由于放射性水平增加或高温），则应考虑其他方法，例如从受保护区域对进行空气取样，以便由自动运行的远程探测器进行分析。

II.38. 火灾探测系统、警报系统或驱动系统的布线应包括以下特点：

- (a) 通过适当选择电缆类型、适当布线、环形结构或其他方式保护线缆免受火灾影响；
- (b) 防止线缆的机械损伤；
- (c) 对线缆的完整性和功能进行持续监控。

### 探测器的选择和位置

II.39. 应仔细选择火灾探测器的类型，以及它们的位置和角度，以确保探测器在发生火灾时按预期启动。许多因素影响火灾探测器对火势增长的响应，包括以下因素：

- (a) 燃烧速度；
- (b) 燃烧速度变化率；
- (c) 燃烧物的特征；
- (d) 天花板高度；
- (e) 探测器的位置和角度；
- (f) 墙的位置；
- (g) 任何气体流动障碍的方位；
- (h) 房间通风；
- (i) 探测器的响应特征。

II.40. 火灾探测器所选类型和位置的有效性应进行分析和评价。

### 消防手段

#### 固定消防用具

II.41. 核电厂应配备固定消防设备。包括人工消防的设施，如消防栓和消防管道。

II.42. 火灾危害分析应确定是否需要提供自动消防系统，如洒水器，喷淋系统，泡沫、水雾或气体系统，或干化学系统。消防系统的设计标准应以火灾危害分析的结果为基础，以确保设计适合于每种受到保护的火灾危害。

II.43. 消防系统的设计和定位应确保既不是他们的故意操作，也不是他们的虚假操作都不会导致安全（包括设计扩展工况下的安全特点）重要相关的结构、系统和部件的功能破坏。

II.44. 在设计中应考虑消防系统运行中可能出现的误差。还应考虑火灾发生时邻近防火分区的消防系统排放的效应。

II.45. 在选择要安装的消防系统类型时，正如火灾危害分析所确定的，应考虑必要的响应时间、消防能力（例如热撞击）及其特点，以及系统运行对电厂工作人员和安全重要物项的影响。

II.46. 一般说来，消防水系统应首先布置在含有高火灾负载的地区，在那里有真实火灾的可能性，在那里进行冷却是必要的。自动喷水器、水雾系统、喷水器和雨淋系统以及水基泡沫系统可应用于电缆铺展区和贮存区，也可用于保护大量含油的设备，如汽轮发电机和油冷变压器。水雾和泡沫系统通常更为复杂。水雾的优点是以较小的水量来实现控制。气体消防系统通常用于含有控制柜和其他易受水损害的电气设备的地方。

II.47. 为了在火灾发生时迅速运行和可用，应首选自动消防系统。但是，应为自动系统的手动驱动作出规定。还应手动关闭自动系统做出规定，以终止错误动作或控制水径流或其他副作用。

II.48. 只有在火灾危害分析中的评价表明，预期的手动启动的延迟不会导致不可接受的损坏时，专门使用的手动消防系统才可以接受。

II.49. 任何单靠手动操作的固定消防系统，其设计应能在足够长的时间内承受火灾，并允许手动操作。

II.50. 除探测设备本身外，任何电气启动系统或消防系统的电力供应均应受到保护以免着火，或应位于受该系统保护的防火分区之外。同时电源故障时应该发出警报。

II.51. 对于所有的消防系统，在调试过程中通常都需要进行运行试验，可以通过实际排放试验，也可以通过使用等效的方法。

II.52. 应制定规范的维护、试验和视察计划，以确保防火系统和部件正常工作并符合设计要求。关于执行本计划的进一步建议见原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-2.1 号《核电厂运行中的消防安全》[23]。

## 水基消防系统

II.53. 水基消防系统应永久连接到可靠和充足的消防水供应系统上。

II.54. 水基自动消防系统包括喷水消防系统、喷雾消防系统、大水流消防系统、泡沫消防系统和水雾消防系统。根据火警危害分析的结果，应在适用下列因素之一的所有地点提供自动保护：

- (a) 存在较高火灾负载的；
- (b) 存在火势迅速蔓延可能性的；
- (c) 火灾可能会危及安全重要冗余物项的；
- (d) 可能会对消防员造成不可接受危害的；
- (e) 火灾失控会导致消防困难的。

II.55. 如果火灾危害分析表明，单靠水可能不适合成功地应对火灾危害时（例如，在应用于易燃液体的情况下），应考虑使用泡沫消防系统。

II.56. 除了在火灾危害分析中确定的预期火灾暴露外，在设计喷水消防系统时还应考虑各种因素，如喷头或喷淋喷嘴的适当类型和位置。

II.57. 为了避免电化学腐蚀，水基系统的组成部分应该由兼容的材料制成。

II.58. 如使用水基消防系统，则应设置设施以限制可能受污染的水，并应在布置上设置足够的排水管，以防止放射性物质不受控制地排放到环境中。

## 消防栓、消防管道及软管系统

II.59. 反应堆厂房应配备消防管道和软管系统（水龙带）。

II.60. 反应堆厂房的消防栓系统应该有就地或远程启动的规定。

II.61. 消防栓的分配环路应为所有厂房的外部消防操作提供充分的条件。除非火灾危害分析报告有充分的理由，内部消防软管系统应具有足够数量的、足够长度的消防水龙带，并具有足以应对危害的连接件和附件，以覆盖电厂的所有内部区域。

II.62. 每个消防栓软管和管道的连接件应与场内和场外消防设备兼容。

II.63. 正如火灾危害分析报告中确定的，在整个电厂的关键位置应提供适当的消防器材，如消防水带、适配器、泡沫混合装置和喷嘴。这些器材应与外部消防设施的器材兼容。

II.64. 每个独立厂房的消防供水系统应设置不少于两个独立的消防栓。每个厂房的消防水供水系统都应配备一个指示切断阀。

## 消防设备给水系统

II.65. 消防设备供水系统的主回路设计应满足预期的用水需求，见第 II.70 段。水到消防设备的分配应该通过一个主环路，这样水可以从两个方向到达每个连接。

II.66. 应该提供阀门来隔离主环路部分的水。应提供就地的直观指示，显示阀门打开或关闭。除非火灾危害分析的建议明确说明了这一点，否则，主环路中的阀门的布置，应使单一阀门的关闭都不会导致任何给定防火分区消防能力的完全丧失。消防水的环路阀应位于远离它们所保护的火灾位置，以保持不受该区域火灾的影响。

II.67. 消防系统的水系统应仅用于消防。该水系统不应连接到服务用水或卫生用水系统的管道中，除非这些系统作为备用消防用水的来源或执行安全功能以缓解事故情况。此类连接应配备隔离阀并处于关闭位置，或在正常运行期间应设置阀位监控。

II.68. 消防水环路可以为多机组场址的一个以上反应堆提供服务，这种装置可以使用公共供水系统。

II.69. 在需要抽水以提供必要水量的场址，消防泵应是冗余的、多样性的和隔离的（即在消防方面），以确保在设备故障时能够充分发挥作用。消防泵应具有独立的控制、自动启动和手动关闭功能，电源来自电厂应急电源提供的不同电源和独立的电源驱动（见 SSG-34[7]）。控制室应提供泵正在运行的指示以及泵断电或泵故障的警报。在寒冷地区还应设置低温报警器。

II.70. 消防系统的供水系统应根据控制火灾所需的最短时间，以及必需压力下的最高预期流量来设计。这个流量是从火灾危害分析中得出的，应该基于固定消防系统的最大需水量加上人工消防的充分裕度得出。在设计消防系统给水系统时，应考虑厂内最高出水口处的最小压力。任何防止低温冻结

的需要都应考虑在内。应考虑提供伴随加热或其他措施，以防止易损管道的冻结。

II.71. 应提供两个单独的可靠水源。如果只提供一个水源，那么它应该足够大（例如一个湖、池塘或河流），并且至少应该提供两个独立的取水口。如果只有水箱，则应安装两个水箱，每个水箱能够满足整个系统的用水需求。主电厂的供水能力应允许在足够短的时间内重新装满任何一个水箱。水箱应该能够相互连接，以便水泵能够从其中一个水箱或两个水箱中取水。在发生泄漏时，每个水箱都应该能够被隔离。储罐应可以安装消防泵接头。

II.72. 当只有一个公共水源为消防和最终热阱供水时，还应满足以下条件：

- (a) 消防系统供水的必要容量应该是水库容量的专用部分；
- (b) 消防系统的故障或运行不应影响最终热阱的供水（反之亦然），包括各种事件的组合。

II.73. 在必要的情况下，应采取措施防止喷头或喷嘴被碎片、生物污垢或腐蚀产物堵塞（例如化学处理、额外过滤）。

II.74. 应采取措施，定期视察供水设备，如过滤器、末端连接、喷头和喷嘴。应定期通过排放来试验水流量，以确保系统在整个电厂寿命周期内能够持续发挥其预期功能。在试验过程中应采取预防措施，防止水损坏电气设备。

## 气体消防系统

II.75. 气体消防系统由气体灭火剂、压缩气体推进剂、相关的分配网络、排放喷嘴和用于探测和/或驱动的设备组成。这些系统可以在危害地点手动操作也可以由检测系统远程或自动启动。

II.76. 气态灭火剂通常称为清洁剂，因为它们在使用后不会留下残留物。由于它们也是不导电的，它们的特性使它们适合保护电气设备。目前，有几种类型的气体消防系统可用，更多的正在开发中。清洁剂系统的优点也可能为以下需求所抵消：要维持的药剂浓度、系统的复杂性、它们不能提供冷却以及它们单独的自然使用。

II.77. 二氧化碳系统或任何其他可能对工作人员造成危害的气体系统，都不能用于保护频繁被工作人员居住的区域。

II.78. 一般有两种使用气体消防剂提供保护的方法：就地应用，将消防剂向危害来源或特定设备排放；和完全覆盖，即灭火剂被排放到防火隔间或封闭设备如开关柜中。有些消防剂不适合就地使用。

II.79. 气体消防系统的考虑因素如下：

- (a) 在确定是否需要气体消防系统时，应考虑到火灾的类型、与其他材料可能发生的化学反应、对活性炭过滤器的影响，以及灭火剂热分解产物和灭火剂本身的毒性和腐蚀性；
- (b) 气体消防系统不应用于需要冷却的地方。例如，在扑灭高确定性假设的火灾时，类似如电缆材料火灾负载高的地区。当使用气体灭火剂时，应考虑，如果气体消防剂的浓度低于最低必要水平，则任何残留可燃物尚未充分冷却，残留可燃物可能再次着火；
- (c) 所有气态消防剂的总量都应足以扑灭火灾。通常通过氧气的稀释来完成火灾的消防（卤化剂除外）。在确定必要药剂的数量时，应考虑到封闭区域的密封性、扑灭火灾危害所需的消防气体浓度、使用频率以及保持设计浓度的期限；
- (d) 为避免超压造成结构损坏或设备损坏，应评价由气体灭火剂排放引起的受保护区域内压力积聚对结构的影响，并在必要时提供安全通风。在选择排气装置时必须谨慎，以免将超压或环境条件传递到救助区；
- (e) 当气体消防系统直接排放到安全重要设备上时，应考虑热冲击可能造成的损害。这可能发生在就地手动应用和向电气柜的自动排放。设计上应确保喷嘴的正确位置，以避免在系统的初始排放时反而助长火势。

II.80. 应采取适当的预防措施，以保护人员可能误入二氧化碳或任何其他有害气体从消防系统无意泄漏或排放到密闭空间变得有危害性。这些预防措施包括：

- (a) 采取预防措施，防止二氧化碳或任何其他危害浓度的有害消防气体泄漏到可能有工作人员停留的邻近区域；
- (b) 在工作人员处于或可能处于受保护空间内时，应提供系统，防止自动气体排放的设备；
- (c) 保护空间以外人工操作气体消防系统的规定；

- (d) 在保护范围入口内进行气体排放时，应持续发出警报，直至密闭区域内的空气恢复正常为止；
- (e) 连续操作火警探测和警报系统，直至保护区内空气恢复正常（这有助于避免工作人员在火灾仍可燃烧的情况下过早重返现场，并可保护工作人员免受有毒气体的侵害）；
- (f) 在气体消防系统排出后，使用通风对密封区域进行保护。可以使用强制通风，驱散对工作人员有害的空气，而不是将有害气体转移到其他区域。

II.81. 气体全面覆盖方式，依赖于气体在整个覆盖空间快速而均匀的分布。这通常是通过使用特殊喷嘴和按照专有规范设计的系统在启动后 10—30 秒内实现的。当气体灭火剂比空气重时，为了以最大限度地减少空间内气体的分层及其潜在的快速泄漏，气体的快速分布尤为重要。

## 干粉和化学消防系统

II.82. 干粉和化学消防系统由预先存储的干粉或化学灭火剂、压缩气体推进剂、相关的分配网络、排放喷嘴以及用于探测和/或驱动的设备组成。这些系统可以在火灾发生地点手动操作，也可以由检测系统远程或自动启动。这些系统通常用于防止易燃液体火灾和某些涉及电气设备的火灾。这些灭火剂一般不用于敏感的电气设备，因为它们通常会留下腐蚀性残留物。

II.83. 所选粉末或化学剂的类型应与可燃材料和/或火灾相容。对于金属火灾应使用特殊粉末来扑灭。

II.84. 在可能受放射性污染的地区，应仔细考虑使用干粉系统，因为干粉排放后的去污工作可能因受污染的粉末残留物而变得更加困难。过滤器（如通风系统过滤器）的堵塞也应考虑在内。

II.85. 在将干粉与泡沫系统等其他消防系统结合使用时，应考虑可能产生的不利影响，有些组合可能是不合适的。

II.86. 由于干粉不能提供冷却或惰性气氛，只能在最低程度上降低火灾的危害，因此应采取预防措施以防止或减少再次起火的可能性。

II.87. 干粉系统很难维护。应采取预防措施，以确保粉末不会在其贮存容器中压缩结块，并确保喷嘴在排放过程中不会堵塞。

## 便携式和移动式消防设备

II.88. 必要时，应提供适合于所防范火灾的各种类型和尺寸的便携式和移动式消防器材，供电厂工作人员和外部消防员进行人工消防时使用。整个电厂应配备足够数量的适当类型的便携式和移动式消防器材，以及用于回充的备件或设施。

II.89. 消防器材应放置在靠近消防水龙带的位置，并沿防火分区的进入通道和逃生通道放置。所有消防器材的位置都应清楚地标明。

II.90. 应考虑消防器材使用时可能产生的不良后果，如干粉消防器使用后的清理。

II.91. 在因易燃液体而有潜在火灾危害的电厂区域，消防用泡沫浓缩液和适用于火灾的便携式设备应随时可用。

II.92. 装有水或泡沫溶液或具有中子慢化能力的其他消防剂，其便携式和移动式消防器不能在贮存、处理或运输核燃料的地点使用，除非对临界危害的评价表明这样做是安全的。

## 人工消防规定

II.93. 人工消防是纵深防御消防策略的重要组成部分。场内和场外消防服务的依赖程度应在设计阶段确定。任何场外消防服务在现场的位置和响应时间将影响人工消防的基本水平。关于人工消防能力的建议见 NS-G-2.1 [23]。

II.94. 电厂的设计应允许场内消防队和场外消防服务使用重型车辆进入。

II.95. 应为所有防火分区提供必要的应急照明和通讯设备，以支持人工消防活动的操作。这些设备应始终正常工作，并应配备不间断的应急电源。

II.96. 应在预选的位置和地方安装具有可靠电源的有线应急通信系统，见 SSG-62[12]。

II.97. 应在控制室和整个电厂的选定位置提供替代通信设备，如双向无线电。此外，应为消防队提供便携式双向无线电。

II.98. 应在适当地点提供自给式呼吸器，包括备用钢瓶和充气设施，供受过适当培训的工作人员使用。

II.99. 电厂设备及其在电厂内的贮存的布局应尽可能便于消防。

II.100. 对于含有安全重要物项的区域，应制定详细的消防策略。

## 排烟排热的规定

II.101. 应进行评定，以确定是否需要排除烟雾和热量，包括是否需要专用的烟雾和热量排出系统，以限制燃烧产物和防止烟雾扩散，降低温度并便利人工消防。

II.102. 在设计排烟和排热系统时，应考虑以下标准：火灾负载、烟雾传播特性、能见度、毒性、消防通道、使用的固定消防系统类型和辐射方面。

II.103. 烟气和热量排出系统的基本能力应通过对防火分区中假想火灾排放的烟气和热量的评定来确定。下列地点应设有排烟和排热设施：

- (a) 电缆所致的火灾高负载区域；
- (b) 易燃液体所致的火灾高负载的区域；
- (c) 包含安全重要物项（包括设计扩展工况下的安全特点）的，通常又由运行人员使用的区域（如主控制室）。



## 参 考 文 献

- [1] 国际原子能机构《核电厂安全：设计》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSR-2/1 (Rev.1) 号，国际原子能机构，维也纳（2016 年）。
- [2] 国际原子能机构《国际原子能机构核安全和辐射防护安全术语》（2018 年版），国际原子能机构，维也纳（2019 年）。
- [3] 国际原子能机构《关于核材料和核设施实物保护的核安保建议》（《情况通报》第 INFCIRC/225/Revision 5）号，国际原子能机构《核安保丛书》第 13 号，国际原子能机构，维也纳（2011 年）。
- [4] 国际原子能机构《核电厂结构、系统和部件的安全分级》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-30 号，国际原子能机构，维也纳（2014 年）。
- [5] 国际原子能机构《核电厂确定性安全分析》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-2 (Rev.1) 号，国际原子能机构，维也纳（2019 年）。
- [6] 国际原子能机构《核电厂仪器仪表和控制系统的的设计》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-39 号，国际原子能机构，维也纳（2016 年）。
- [7] 国际原子能机构《核电厂电力系统的设计》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-34 号，国际原子能机构，维也纳（2016 年）。
- [8] 法国核岛设备设计和建造规则协会《EPR 消防技术规范》(ETC-F 2013)，法国核岛设备设计和建造规则协会，巴黎（2013 年）。
- [9] 国际原子能机构《核电厂反应堆冷却剂系统和相关系统的设计》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-56 号，国际原子能机构，维也纳（2020 年）。
- [10] 国际原子能机构《核电厂反应堆安全壳和相关系统的设计》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-53 号，国际原子能机构，维也纳（2019 年）。

- [11] 美国核管制委员会《标准评审计划：分支技术定位 3—4—安全壳内外流体系统管道的假想破裂位置》，第 NUREG-0800 号报告，美国核管制委员会，华盛顿特区（2007 年）。
- [12] 国际原子能机构《核电厂辅助系统和支持系统的设计》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-62 号，国际原子能机构，维也纳（2020 年）。
- [13] 国际原子能机构《核电厂燃料装卸和贮存系统的设计》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-63 号，国际原子能机构，维也纳（2020 年）。
- [14] 国际原子能机构《核装置抗震设计》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-67 号，国际原子能机构，维也纳（编写中）。
- [15] 国际原子能机构《核电厂维护、试验、监视和视察》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-74 号，国际原子能机构，维也纳（编写中）。
- [16] 美国机械工程师协会《架空和门式起重机建造规则（桥吊、多梁）》（ASME NOG-1），美国机械工程师学会，纽约（2015 年）。
- [17] 美国核管制委员会《核电厂用单一故障防护起重机》，第 NUREG-0554 号报告，标准编写办公室，华盛顿特区（1979 年）。
- [18] 美国核管制委员会《核电厂重物控制》，第 NUREG-0612 号报告，核反应堆管理办公室，华盛顿特区（1980 年）。
- [19] 辐射防护联邦委员会《核电厂起重设备的设计》，KTA 安全标准 KTA 3902（2012-11-2014-04-08），KTA 办公室，辐射防护联邦委员会，德国萨尔兹吉特（2012 年）。
- [20] 国际原子能机构《核电厂火灾危害分析的准备》，《安全报告丛书》第 8 号，国际原子能机构，维也纳（1998 年）。
- [21] 国际原子能机构《制定和实施核电厂一级概率安全评定》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSG-3 号，国际原子能机构，维也纳（2010 年）。
- [22] 国际标准化组织《火灾分类》（ISO 3941：2007），国际标准化组织，日内瓦（2007 年）。

[23] 国际原子能机构《核电厂运行中的消防安全》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-2.1 号，国际原子能机构，维也纳（2000 年）。（修订版编写中）



## 参与起草和审订人员

Amri, A.	国际原子能机构
Bae, Y.B.	韩国核安全研究所
Berg, P.-H.	德国联邦核废物管理安全办公室
Bouscasse, M.	法国辐射防护与核安全研究所
Eguchi, H.	日本核监管局
Fong, C.J.	美国核管制委员会
Gajdos, M.	国际原子能机构
Kasahara, F.	日本核监管局
Katona, T.J.	匈牙利帕克斯核电厂
Röwekamp, M.	德国电厂和反应堆安全协会
Williams, G.	英国核监管办公室



## 当地订购

国际原子能机构的定价出版物可从我们的主要经销商或当地主要书商处购买。  
未定价出版物应直接向国际原子能机构发订单。

### 定价出版物订单

请联系您当地的首选供应商或我们的主要经销商：

#### **Eurospan**

1 Bedford Row  
London WC1R 4BU  
United Kingdom

交易订单和查询：

电话：+44 (0) 1235 465576

电子信箱：trade.orders@marston.co.uk

个人订单：

电话：+44 (0) 1235 465577

电子信箱：direct.orders@marston.co.uk

网址：www.eurospanbookstore.com/iaea

欲了解更多信息：

电话：+44 (0) 207 240 0856

电子信箱：info@eurospan.co.uk

网址：www.eurospan.co.uk

定价和未定价出版物的订单均可直接发送至：

Publishing Section  
International Atomic Energy Agency  
Vienna International Centre  
PO Box 100

1400 Vienna, Austria

电话：+43 1 2600 22529 或 22530

电子信箱：sales.publications@iaea.org

网址：https://www.iaea.org/zh/chu-ban-wu





通过国际标准促进安全

国际原子能机构  
维也纳