

核安全导则 HAD102/05-2025

核动力厂设计中的外部事件

(国家核安全局 2025 年 5 月 28 日批准发布)

国家核安全局

核动力厂设计中的外部事件

(2025 年 5 月 28 日国家核安全局批准发布)

本导则自 2025 年 5 月 28 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。

目 录

1 引言	1
1.1 目的	1
1.2 范围	1
2 总则	5
2.1 设计要求	5
2.2 防外部事件的其他设计考虑	5
2.3 需防御外部事件的构筑物、系统和部件	9
2.4 设计基准外部事件和超设计基准外部事件的设计和评估	10
2.5 设计基准外部事件和超设计基准外部事件的设计安全特性	13
2.6 管理措施	17
3 外部事件设计基准	18
3.1 由厂址危险分析确定设计基准	18
3.2 总体设计方法	20
3.3 设计基准外部事件荷载工况的确定：总体考虑	21
3.4 设计基准外部事件荷载工况的获取：特定的外部事件	22
3.5 超设计基准外部事件的评估——陡边效应	22
4 核动力厂的平面布置与结构设计方法	25
4.1 核动力厂布置	25
4.2 结构设计方法	28
4.3 结构设计程序	31
4.4 材料特性	31
4.5 设备鉴定	32
4.6 相互作用效应	32
4.7 结构的超设计基准外部事件评估方法	33
5 针对外部事件的设计规定	36
5.1 外部洪水（包括海啸）	36
5.2 极端风	44
5.3 其他极端气象条件	50
5.4 火山	56
5.5 外部火灾	56

5.6 外部爆炸	60
5.7 有毒、可燃、腐蚀性和窒息性化学品释放	66
5.8 来自其他核设施的放射性危险	70
5.9 飞机坠毁	71
5.10 电磁干扰	77
5.11 生物现象	78
5.12 漂浮物与有害液体	80
5.13 其他外部事件	83
5.14 事件组合	83

1 引言

1.1 目的

1.1.1 本导则是对 HAF102《核动力厂设计安全规定》有关条款的说明和细化，其目的是为核动力厂的外部事件¹（不包括地震）防护设计提供指导。本导则可供国务院核安全监督管理部门、核动力厂设计人员和营运单位使用。

1.1.2 本导则根据场址选择阶段进行的厂址危险评估，按照核动力厂的具体布置，为确定核动力厂适当的包络设计²提供方法和程序。

1.1.3 这些方法和程序旨在针对所选设计基准外部事件³，为安全重要物项的设计和防护提供指导，以确保核动力厂的安全。为了应对陡边效应⁴、裕量检查和验证之目的，本导则为选取超设计基准外部事件⁵的水平提供指导。

1.2 范围

1 外部事件是在核动力厂所在区域内，可能对核动力厂安全或核活动产生影响的事件，包括外部自然事件和外部人为活动引发的事件。

2 核动力厂设计中考虑的始发事件、内外部危险和其他工况。

3 设计基准外部事件是为了进行核动力厂或其中的部分物项设计所选取的某外部事件或外部事件的组合，以特定参数值或相关参数值进行表征。在本导则中，设计基准外部事件应独立于核动力厂的布置。在设计选取的特定参数或经验模型中，建立所施加的荷载方案可能需要工程分析。

4 在核动力厂中，由微小变化的输入引发核动力厂状态的重大突变。例如，由参数微小的偏离导致核动力厂从一种状态突变到另一种状态的严重异常行为。所谓陡边效应所定义的“核动力厂参数”，需解释为较为宽泛的含义，如核动力厂的实体变化、设计方面、设备状况、危险大小等，可能影响核动力厂性能。

5 本导则识别超设计基准外部事件的目的是确保设计包含增强核动力厂承受此类事件能力的特征。此外，此类事件的识别用于评估设计中存在的裕量，并用于识别潜在的陡边效应。

1.2.1 本导则适用于采用水冷反应堆的陆上固定式核动力厂，相关规定通常也适用于其他类型反应堆的核动力厂。

1.2.2 本导则适用于核动力厂对下述外部事件的设计与安全评价。

1.2.2.1 人为事件

- a) 小型飞机意外坠毁和大型飞机恶意撞击；
- b) 爆燃或爆炸（可能产生火灾或飞射物）；
- c) 厂内或厂外贮存或运输的有毒有害气体、液体释放；
- d) 厂内或厂外源的放射性物质释放；
- e) 厂内或厂外贮存或运输的腐蚀性气体、液体释放；
- f) 厂内或厂外源引起的火灾（主要因其潜在产生烟气和有毒气体）；
- g) 船只或飘浮碎屑与可达的核安全重要构筑物的碰撞，如取水口与最终热阱物项；
- h) 厂内运输车辆与构筑物、系统和部件的碰撞；
- i) 源自厂外（如来自移动通信基站）和厂内（如来自高压电气开关、无线通信设备和非屏蔽电缆）的电磁干扰；
- j) 外部管道破裂引起的水淹；
- k) 由共同的始发事件而引起的上述事件的组合（如起火爆炸并释放有毒气体）。

1.2.2.2 自然事件

a) 洪水（由于潮汐、海啸、湖震、风浪、降水、泉涌、筑坝或溃坝、融雪、涌潮或机械引起的波浪、包括冰川在内的山体滑坡、河流改道、地表高水位等引起）；

b) 极端气象条件（温度、雪、冰雹、霜冻、地下冰冻和干旱等）；

c) 极端风，包括直线风、热带气旋引起的风（如旋风、台风）和龙卷风；

d) 沙尘暴；

e) 闪电、太阳风暴；

f) 火山活动；

g) 生物现象；

h) 漂浮物（冰、原木等）与可触及的核安全重要构筑物的碰撞，如取水口和最终热阱物项；

i) 地质灾害（与地震作用无关）；

j) 上述事件的组合。

1.2.3 对于某个具体厂址，上述清单未必齐全，因此，也应识别其他未列入清单但与厂址相关的外部事件，并将其选取为额外的外部事件。

1.2.4 在选址过程中，人为事件可能受工业和运输环境变化的影响，自然灾害也可能变化（如由气候变化引起）。此类变化应在定期安全评价中予以考虑。当获得其他新的重要资料，以及现有认知未涵盖的重要事件发生后，也应对事件的确定和防护进

行重新评价。

1.2.5 本导则中考虑的外部自然事件不包括地震，地震相关内容按照核安全导则 HAD102/02 《核动力厂抗震设计与鉴定》执行；本导则中考虑的外部人为事件属于意外事件。恶意破坏活动（不包括商用飞机的恶意撞击）不在本导则的讨论范围之内，但本导则所论述的方法在核动力厂防护恶意破坏方面也可参照使用。

1.2.6 本导则主要关注新建核动力厂的设计阶段。但大多数建议也适用于已建核动力厂的重新评估，以及定期安全评价。

2 总则

2.1 设计要求

本导则是为落实 HAF102 中关于“内部和外部危险、设计规范、热量向最终热阱的传输、控制室”等相关章节内容的要求⁶。

2.2 防外部事件的其他设计考虑

2.2.1 危险评估应该包括以下信息：a) 危险的年超越概率和严重程度；b) 描述危险评估的方法、要素和重要参数（包括筛选方法、结果和不确定性）；c) 危险评估过程中的假设。这些信息应传达给负责核动力厂设计的单位。

2.2.2 核动力厂安全重要的构筑物、系统和部件的设计和评估应考虑其遭受两个水平的外部事件。第一个水平是设计基准外部事件。第二个水平是超设计基准外部事件。设计基准外部事件的年超越概率应足够低，以保证较高的外部事件防护水平。应说明设计基准外部事件年超越概率所对应的均值、中值或其他分位数。

2.2.3 设计单位应负责定义构筑物、系统和部件的设计基准外部事件的设计荷载工况和超设计基准外部事件的评估荷载工况。这些荷载工况应基于厂址危险评估的数据来确定。

2.2.4 按照 HAF102 要求，设计必须提供适当的裕量，其可通过保守设计方法来实现，适当考虑所使用的不同方法、数据、假设和规范的可变性和不确定性。其目的是确保构筑物、系统和

⁶ 具体内容详见 HAF102 中“核动力厂总体设计”相关部分。

部件即使在比假定的设计基准更为严重的情况下，仍具有安全运行的能力，而不会发生陡边效应。在构筑物、系统和部件的设计中考虑了各种内部和外部极端荷载，也提供了适当的裕量。某些构筑物、系统和部件的控制荷载可能不同，例如，由于事故工况引起的压力和其他环境荷载，飞机坠毁、龙卷风、管道破裂、地震作用等。

2.2.5 关于构筑物、系统和部件的设计，“适当裕量”来源既包括用于确定荷载工况所遵循的方法，也包括遵循设计与制造规范所确定的应力限值。设计规范和标准直接或间接给出了单个构筑物、系统和部件设计过程中达到的裕量（考虑了各自荷载工况所产生的裕量）。或者对于整个核动力厂而言，应从确定荷载参数，到定义和实现构筑物、系统和部件的性能接受准则等一系列步骤实现。

2.2.6 就本导则的目标而言，所谓“适当裕量”是指：

- a) 核动力厂承受设计基准外部事件的荷载工况的总体能力；
- b) 单个构筑物、系统和部件在遭受设计基准外部事件的荷载工况时执行其预定功能的能力；
- c) 避免由超设计基准外部事件导致的任何陡边效应。

2.2.7 为了考虑任何不确定性，应根据相关裕量保守地确定设计基准外部事件及其相应的荷载工况。

2.2.8 超设计基准外部事件可通过如下方法来定义。

- a) 采用比设计基准外部事件更低的年超越概率。

b) 对所有安全重要（或为防止早期或大量放射性释放所必需的部分）的构筑物、系统和部件的设计基准外部事件荷载工况，采用更高的幅值。一种方法是在这些构筑物、系统和部件的设计基准外部事件荷载工况中增加保守因子。

2.2.9 在考虑超设计基准外部事件并遵循最佳估算方法时，应确定引起陡边效应的外部事件参数值。应论证选择的超设计基准外部事件水平相对这些参数有足够的裕量。

2.2.10 应进行裕量评估，以确定如下信息。

a) 核动力厂的适用安全功能或安全重要构筑物、系统和部件功能将受到损害的荷载工况水平。该评估过程应包括识别工程设计的薄弱环节和改进领域，以确保核动力厂的安全符合监管要求。裕量评估还应确定外部事件导致的陡边效应的可能性，并估计其发生概率。

b) 以很高的置信度表明核动力厂的适用安全功能将得到满足并且不会因略大的荷载工况而产生陡边效应的荷载工况水平。

以上所述的两种裕量评估方法分别代表概率论方法和确定论方法。概率论方法应提供能够继续满足核动力厂适用安全功能的荷载工况水平的最佳估计。确定论方法应提供保守值，在该值下，核动力厂可用的安全功能能够得到满足。

2.2.11 在概率论方法中，最佳估算值应由荷载工况的均值或中值定义。最佳估算值应使用荷载工况、核动力厂的响应以及安全重要构筑物、系统和部件的能力的全概率模型计算。最佳估算

值应在数值范围内进行卷积，或使用简单的最佳估算模型导出为点估计值，其中荷载工况定义为均值或中值，所有核动力厂参数都分配有其最佳估算值。

2.2.12 在确定论方法中，应该为裕量评估定义一个指标。其中一种方法是使用“高置信度低失效概率（HCLPF）”能力。这种方法通常用于地震裕量评估。

2.2.13 为各种外部危险定义的安全裕量取决于这些危险的特性。某些特性可能会增加外部事件的严重性或后果，而其他特性则可能减轻外部事件的影响。在确定安全裕量时应考虑以下因素。

a) 可能使外部事件对核动力厂产生更为严重的影响或增加不确定性的因素：

- 1) 引发陡边效应的可能性；
- 2) 危险评估中的不确定性（例如：数据库问题—最大值的完整性和约束条件）；
- 3) 特定外部事件的有限经验，或与核动力厂相关性（即外部事件的可信性）；
- 4) 与其他外部事件组合并相互依赖的可能性（例如强风与洪水；地震地面运动、断层位移与海啸）；
- 5) 外部事件引起内部事件的可能性（例如地震引起内部火灾或水淹）；
- 6) 共因失效的程度，例如：

- 对单个机组的所有构筑物、系统和部件，或一个核动力厂中的多个机组或多个核动力厂厂址同时产生影响；
- 对系统冗余、纵深防御的潜在损害；
- 同时威胁场内和场外应急响应设施。

b) 可能减轻外部事件对核动力厂影响的因素。

1) 提前预警的可能性，例如：

- 极端气象条件或外部洪水（例如台风或旋风、河流洪水或来自远处的海啸）和进气口中的烟尘（例如由于火山喷发或沙尘暴）的警告时间（以小时为单位）；
- 极端风（例如龙卷风）的警告时间（分钟或更短）。

2) 足以停堆的时间（有序停堆或紧急停堆），注意需要评估停堆状态。

3) 共因失效的程度，例如由于龙卷风或飞机坠毁造成的有限空间效应（覆盖区）。

2.2.14 在针对超出设计基准外部事件对核动力厂的安全性进行评估时，应采用适用于处理设计扩展工况的验收标准。

2.3 需防御外部事件的构筑物、系统和部件

在对每个单一外部事件的设计和评估过程中，应识别所有受其影响或暴露于外部事件的安全重要物项。该物项清单应包括所

有构筑物、系统和部件以及专门为防护外部事件所设的屏障或防护结构。

2.4 设计基准外部事件和超设计基准外部事件的设计和评估

2.4.1 核动力厂外部事件防护设计应包括该事件所有可信的后续效应。外部事件可以通过不同方式威胁核动力厂安全，例如：

a) 厂址保护功能的弱化（人造土工结构、屏蔽墙、堤坝等的失效）；b) 结构承载能力的退化（密封性、结构完整性，对设备、部件和分布系统的支撑）；c) 设备运行损害；d) 由于外部事件引起的对冗余功能的共因损害；e) 操纵员的能力损害；f) 最终热阱不可用；g) 厂外电源和厂外服务及资源不可用。

2.4.2 针对需考虑的特定厂址外部事件，设计人员应评价其对核动力厂的影响，包括所有可信的次生效应：

a) 在评估外部事件对核动力厂的影响时，应识别现实可信的场景，并保证其被保守的场景所包络；

b) 对于超设计基准外部事件评估，应采用确定论或概率论方法来评估安全裕量。

2.4.3 关于核动力厂的设计应考虑 HAF102 中要求的共因失效。

2.4.4 关于核动力厂的设计应考虑 HAF102 中要求的单一故障准则，即应对设计中的每个安全组合都应用单一故障准则。

2.4.5 关于核动力厂的设计，单一故障准则只能处理随机故障。因此，冗余是单一故障准则分析的最终结果，但其可能会被

与外部事件（对厂址相对较大的区域产生不利影响的外部事件）相关的共因失效所损坏。

2.4.6 设计基准外部事件应与其他可能独立发生的事件（如其他外部人为事件、自然现象、设备失效和操纵员失误）组合考虑。应采用确定论和概率论方法，来确定和评估适当设计组合。

2.4.7 如果不能排除直接或间接的因果关系，则应假定丧失厂外电源与任何设计基准外部事件或超设计基准外部事件同时发生。特别是，对于预计会影响整个厂址的外部事件，进而使共因失效模式的可能性增加，或可能导致汽轮机停机、反应堆停堆的外部事件，应将丧失厂外电源与设计基准外部事件和超设计基准外部事件组合评估。

2.4.8 在评估设计基准外部事件和超设计基准外部事件产生的直接和间接效应中，在规定如何组合直接和间接影响时，应合理考虑直接和间接效应之间的时间延迟。

2.4.9 对于那些预计会缓慢发展的设计基准外部事件和超设计基准外部事件，应考虑预警和预防措施的可能性。在这种情况下，应准备书面程序，明确规定收到预警后应采取的行动。应考虑设计基准外部事件和超设计基准外部事件对场外、厂内基础设施和核动力厂的直接、中期和长期影响，因为外部事件可能损坏或破坏厂址核安全无关基础设施，例如：厂内道路、海港等。

2.4.10 那些正常情况下可为核动力厂提供各种类型支持的厂外设施和资源可能不可用。如果假定厂址的极端条件可能存在相

当长的一段时间（长期），则应评估从厂外资源供应任何备用设施的可行性。因此，应对厂址区域在极端条件下接受厂外支持的能力进行现实的评估。在这种条件下，应确保厂外基础设施和资源有充分的能力，否则在安全分析中不考虑此类备用措施。

2.4.11 对于涉及厂外设施支持的缓解行动，所考虑可信度应基于对特定超设计基准外部事件和特定厂址条件的分析，并应包括足够的确定性裕量。当假定发生外部自然和人为事件时，应允许厂外设施、资源和服务（如设备、电力供应、消防服务）支持的短期不可用。特定厂址条件还应考虑设施、资源和服务恢复可用的时间。

2.4.12 对于最终热阱，应检查热传输流体的组成需求，以及热传输系统使用附加接入点或注入点的可能性。当厂址贮存有限的热传输流体时，应通过下述措施保证补给能力：

- a) 保护补给系统免受外部事件的影响；
- b) 提供足够量的流体以允许有时间对补给系统的损坏进行修补；
- c) 提供接入点或注入点，以便进行维修时，附加热传输流体可由厂址的其他热传输流体源注入。

2.4.13 设计基准外部事件期间或之后的操纵员行动的可信度以及执行所需行动的操纵员培训，应取决于特定外部事件及其对厂址和构筑物、系统和部件的预期影响。阻碍操纵员行动的因素包括：a) 厂内通讯的缺失；b) 由于厂址道路破坏而无法通行；

c) 缺少安全执行恢复功能所需的专业技术支持；d) 由于构筑物、系统和部件故障或失效而无法执行行动；e) 由于结构损坏或者环境发生变化无法进入相关区域。

2.4.14 对于因设计基准外部事件或超设计基准外部事件引起的设备故障的纠正、损坏的修复或对引发事件（如丛林火灾）的抑制，不应考虑操纵员的行动，除非有明确的论证表明这样的行动能够在与所需行动的复杂性和难度相符的时间框架内安全可靠地完成。考虑到不确定性、诊断故障程度和制定或修改纠正程序所需的时间，以及可能无法提供适当的人员或更换部件等因素，应预留相当大的裕量。

2.5 设计基准外部事件和超设计基准外部事件的设计安全特性

2.5.1 在核动力厂防护设计基准外部事件的设计中，应采用足够稳健性的设计方法，以为核动力厂应对超设计基准外部事件提供足够的裕量。一般来说，这种能力应通过以下措施的组合来提供：由高质量的设计，对设计参数变化的低敏感性，在材料选择、施工标准和质量保证方面具有高度的和可以证明的保守性。应使用概率工具或确定性边界分析对设计的稳健性进行评估。

2.5.2 在设计基准外部事件的防护设计中，核动力厂的系统设计应遵循能动部件的单一故障准则，这可以通过系统中安全系统或序列的冗余来实现，同时适当考虑外部事件引发的潜在共因失效。这一准则也适用于非能动部件，除非在单一失效分析中以很高的置信度表明该非能动部件的失效是非常不可能的，并且其

功能不受设计基准外部事件的影响。设计基准外部事件相关的验收准则应基于设计基准事故的验收准则。

2.5.3 核动力厂对外部事件的防护应采用以下一种或多种基本方法：

a) 通过“非能动屏障”措施减少外部事件造成的影响，例如，“干厂址”、防波堤或者挡浪墙之于外部洪水，外部屏障之于飞机坠毁以及屏障之于爆炸；

b) 安全系统通过应用多样性、冗余性、实体隔离等，有效抵御外部事件的影响；

c) 构筑物、系统和部件能抵御外部事件荷载工况；

d) 管理措施，如禁飞区的设立和实施。

应说明用于保护核动力厂的方法的合理性，并论证其可靠性。在合理可行的情况下，应尽量避免以管理措施取代能动或非能动防护。

2.5.4 针对大型和广泛分布的系统，应制定针对共因失效的特殊规定，如最终热阱系统、泵房、冷却塔或一回路主系统的管道系统。应实施以下保护策略的组合。

a) 安全重要物项的适当冗余。冗余的水平应是单一故障准则应用于设计的结果。

b) 冗余部件之间足够的空间分隔。该措施旨在防止局部外部事件导致的共因失效，如飞射物撞击，以及某一系统失效事件可能成为另一系统失效之源的相互作用。为了应用实体隔离的概

念，应对设计基准外部事件和超设计基准外部事件的影响区域或预期损坏进行详细分析。

c) 冗余部件的多样性。对于可能导致共因失效的外部事件情景，应谨慎评估多样性的益处。多样性应尽可能与实体隔离相结合。

2.5.5 对于新建核动力厂关于外部事件的防护设计，应体现系统布置、安全方面、运行方面之间的最佳平衡。

2.5.6 为了应对厂址特定危险的认知变化、设计方案的变更（如重新布设冗余系统或系统中的部件），对已有核动力厂的设计修改可能是有限的。在这种情况下，如果合理可行，应提供额外的防护，以屏障或改造部分系统来实现所需的功能。应考虑的方案包括安装额外的永久性设备，根据需要提供（厂内、厂外）非永久性（临时）设备（这些设备可能是可移动的）。应对附加系统的永久性和临时性设备进行分类，以确保其功能性要求。

2.5.7 为了满足安全要求，在设计中还应考虑以下方面。

a) 在发生设计基准外部事件期间及之后，设计应确保主控制室、辅助控制室以及满足运行要求所需位置（隔间、房间和设施）的可达性。

b) 与第三层次和第四层次的纵深防御相关的物项不应因设计基准外部事件而受到损害。针对不符合的情况，应分析论证相关物项的损害后果不超出设计基准事故的验收准则。

c) 应该假设未防护设计基准外部事件的系统是“可运行的”或“不可运行的”，这取决于何种状态在设计基准外部事件的防护措施设计中提供了更为保守的场景。

d) 如果需要，应验证设计基准外部事件发生后的人员和设备在厂址的可移动性。

2.5.8 为满足超设计基准外部事件的安全要求，在设计中还应考虑以下方面：

a) 在考虑超设计基准外部事件发生时，设计应确保主控制室或辅助控制室以及满足运行要求所需（隔间、房间和设施）位置的可达性，以满足超设计基准外部事件的响应要求；

b) 未防护超设计基准外部事件的系统应假定为“可运行的”或“不可运行的”，这取决于何种状态在评估针对超设计基准外部事件的防护措施时提供了更为保守的场景；

c) 未针对超设计基准外部事件提供保护且非安全重要的系统，其设计应确保此类事件导致的失效不会危及安全级物项；

d) 如果需要，应验证在超设计基准外部事件发生后，人员和设备在厂址的可移动性。

2.5.9 设计中保护核动力厂不受设计基准外部事件和超设计基准外部事件影响的规定，不应损害核动力厂承受其他设计基准事件的能力，及影响安全重要系统运行程序的执行。

2.5.10 如果任何构筑物、系统和部件（包括整个核岛）的设计采用隔震技术，应验证上述构筑物、系统和部件对于其他外部

危险的反应，此设计方法不应产生负面效应。

2.6 管理措施

应对设计基准外部事件和超设计基准外部事件的管理措施包括有助于确保满足核动力厂安全目标的程序和协议。应适当地将管理措施与其他措施相结合，作为针对每种外部事件防护方案的一部分。在外部事件前采取的管理措施应基于前文所述的考虑。适用时，应包括对海啸、台风、龙卷风以及有害气体和液体释放的预警和准备等措施。此外，应制定程序和规程以避免危险情况的发生，例如：在核动力厂周围给定半径划定禁飞区、限制在厂址贮存可能成为飞射物的材料、限制在厂址贮存可燃材料。

3 外部事件设计基准

3.1 由厂址危险分析确定设计基准

3.1.1 为了保证资料和数据的范围足以确定外部事件荷载工况，设计单位应与危险评估单位进行充分沟通。此外，资料和数据对于设计单位应是透明和清晰的，从而也能使营运单位对荷载工况有充分的认识和理解。

3.1.2 设计过程应包括向厂址危险评估提供有关设计基准外部事件和超设计基准外部事件推导的信息，包括要考虑的适当的年超越概率水平。

3.1.3 筛选是危险评估的一部分。对于人为诱发的外部事件，应根据实体距离和严重程度或发生概率⁷进行筛选。当使用筛选概率水平方法进行筛选时，应提前通知危险评估单位，以确定要考虑的年超越概率的适当水平。

3.1.4 在危险评估和设计之间应实施信息反馈程序。程序应包括危险参数、荷载工况和厂址危险筛选结果。

3.1.5 设计中的总体方法是通过确定论与概率论的结合确定设计荷载工况，并以确定性的方法进行设计。

3.1.6 在某些情况下，即使通过确定论和概率论结合的方法确定某一荷载工况作为潜在的设计基准外部事件，但若经特定分

⁷ 对于新建核动力厂，设计将 10^{-7} /堆年的概率值作为具有严重放射性后果的相互作用事件概率值的一个可接受限值，如果用于所有同类事件（如所有飞机坠毁、所有爆炸），则被认为是筛选概率水平的保守值。一些始发事件的可接受概率可能非常低，需要单独考虑。

析表明该事件的效应会完全被其他已考虑的设计基准事件所包络，还可将其排除。但是，被筛选掉的风险还应在设计基准中保留，以保证对于包络工况所采取的潜在的工程和管理措施，也适用于被包络的工况。

3.1.7 当通过概率论确定风险时，应对厂址危险进行分析，并以风险曲线表示。在设计阶段，将使用给定的年超越概率的风险曲线或单一危险值。

3.1.8 设计基准选取的最终安全目标是使由外部事件产生的放射性风险低于规定限值，且可合理达到尽量低；对于核动力厂，年平均堆芯损伤频率、年平均早期大量放射性释放频率和（或）年平均大量放射性释放频率须低于国务院核安全监督管理部门规定的限值。

3.1.9 为满足 3.1.8 所述目标，在确定设计基准外部事件和超设计基准外部事件工况时应评估以下内容：a) 其发生的可能性；b) 其对安全重要构筑物、系统和部件的影响；c) 荷载工况对构筑物、系统和部件满足性能要求（失效可能性）的影响；d) 风险指标对核动力厂的总体影响。

3.1.10 为证明已达到了设计安全目标，应进行适当的确定论或概率论分析，分析的详细程度应满足论证目标的需求。

3.1.11 对于每个关注的外部事件，应评估外部事件荷载工况产生陡边效应的可能性。评估应包括陡边效应的判别，如，防洪结构的漫顶、发生的概率、陡边效应对核动力厂的影响后果以及

缓解这些效应的方法。

3.2 总体设计方法

3.2.1 应考虑在核动力厂任何可能的正常运行状态（如满功率、热停堆、冷停堆、换料停堆、维护和维修）下同时发生设计基准外部事件或超设计基准外部事件。

3.2.2 核动力厂设计基准外部事件和超设计基准外部事件的初始条件应包括因果事件和伴随事件的影响，例如下列情况。

a) 当风暴引起厂外和厂内破坏时，可能会发生因果事件。例如，在厂外，河堤破坏引起河水流向核动力厂。厂内破坏影响防护洪水的构筑物、系统和部件。因此，需要考虑洪水发生时的核动力厂的状态。

b) 台风会出现风荷载、极端降雨和风暴潮这些效应伴随同时发生。

3.2.3 设计基准外部事件和超设计基准外部事件的核动力厂初始工况，应考虑可能会在外部事件发生之前导致核动力厂状态变化的措施的影响，如事先预警导致核动力厂停堆。

3.2.4 应在新建核动力厂的调试前，由资深工程师进行系统检查、组织正式巡查，以对外部事件（还包括由内部火灾、水淹、机械碰撞和电磁干扰等引发的内部相互作用）的防护设计进行最终验证，验证是否有未预计的状况，并验证特定设计特征。巡查组应由外部事件、结构设计、部件设计专家和系统分析工程师以及核动力厂操纵员（包括维护人员）组成。还应对已有的核动力

厂进行正式的巡查，以评估其对外部事件的稳健性。在巡查中，还应解决“内部管理”方面的问题，例如，随意放置的设备、设备的紧固（例如：气瓶、梯子）和瞬态火灾荷载。

3.3 设计基准外部事件荷载工况的确定：总体考虑

3.3.1 对于所选的设计基准外部事件，设计基准参数及相关荷载方案应与对设计限值⁸评估必要的详细程度相一致（所使用的方法、模型、计算和测试与验收准则密切相关）。

3.3.2 性能准则应适当地针对构筑物、系统和部件的整体和局部结构完整性，如密封性、无贯穿⁹、无碎甲¹⁰；设备、部件和分布系统的可运行性，以及与所用设计程序相关的符合性水平，如静态、动态、线性、非线性、一维、二维或三维分析。

3.3.3 应注意 HAD101/04《核电厂厂址选择的外部人为事件》中所述外部事件相关的荷载，是具有随时间快速上升和短持续时间的冲击或爆炸荷载，其特征是能量有限或动量传递明确。荷载通常是局部的、对于单个目标产生重大的局部效应，但对于总体的大体积结构产生的效应很小。荷载一时间曲线通常是在刚体上进行分析模拟或由试验确定。

3.3.4 如果在设计过程中使用简化的工程方法，设计人员应确认其对于关注工况的可用性，及设计中要求的保守性。

3.3.5 对于特定布置的构成，如冷却塔之间的群体效应、细

⁸ 设计限值是以设计参数来表示的验收准则（如：弹性、最大裂缝宽度、不屈曲和最大延性）。

⁹ 贯穿是指飞射物完全穿透被撞击目标的状态。

¹⁰ 碎甲是指作为飞射物撞击的结果，目标的背面产生不规则碎片的脱落。

高烟囱的动力放大或在飞机坠毁情况下，大跨度弹性板的动力相互作用，应进行由数值分析和物理试验支持的详细研究。

3.3.6 对于输入数据和不同的可接受方法之间，应进行敏感性分析。

3.4 设计基准外部事件荷载工况的获取：特定的外部事件

对于每个外部事件，确定设计基准外部事件和超设计基准外部事件，首先按大小和距离进行筛选，按发生概率筛选，构筑物、系统和部件的分类，与设计基准外部事件和超设计基准外部事件相关的荷载工况（参数）的定义，构筑物、系统和部件在荷载工况下的设计和评价，以及构筑物、系统和部件失效的可能性和后果进行筛选。对于每个关注的外部事件，应评估外部事件荷载工况产生陡边效应的可能性。

3.5 超设计基准外部事件的评估——陡边效应

3.5.1 设计基准应避免陡边效应，并考虑与设计基准外部事件取值相关的任何不确定性。关于潜在的陡边效应，应获得以下信息：

- a) 可能发生陡边效应的外部事件的识别；
- b) 发生陡边效应事件的严重程度；
- c) 与触发陡边效应相应的荷载工况；
- d) 该危险水平的发生概率。

3.5.2 为了评估裕量和评价陡边效应，应使用以下方法之一定义超设计基准外部事件荷载工况：

a) 通过对设计基准外部事件荷载工况应用一个因子来确定超设计基准外部事件荷载工况，概念上类似于新建核动力厂设计中确定超设计基准地震荷载工况的方法；

b) 基于概率危险评估定义超设计基准外部事件荷载工况；

c) 将超设计基准外部事件荷载工况定义为最大可信危险的严重程度。

3.5.3 超设计基准外部事件的确定，与构筑物、系统和部件及核动力厂的性能与验收准则是内在耦合的。与设计扩展工况（参考设计要求）类似，评估超设计基准外部事件的方法可以通过最佳估算法来执行（与材料性能相关的设计方法和验收准则相比，最佳估算法进行了适当放松）。

3.5.4 可通过采用下述两种方法评估超设计基准外部事件对核动力厂安全的影响：

a) 对地震以外的外部事件进行概率安全分析，量化堆芯损伤频率、早期大量释放频率和大量释放频率¹¹；

b) 一种确定外部事件严重程度的裕量评估方法，当等于或低于该严重程度时，有很高的置信度表明外部事件引起的堆芯损伤可以实际消除。

3.5.5 根据 HAF102 的要求，应针对超设计基准外部事件进行验证，以证明具有足够的裕量并避免发生陡边效应：

11 除了地震，已对极端洪水和极端风进行过外部事件概率安全分析。

- a) 防止早期放射性释放或者大量放射性释放最终需要的物项；
- b) 确保热量传输到最终热阱的物项；
- c) 确保控制室功能的物项，如果超设计基准外部事件发生后主控室不可用，则确保辅助控制室功能的物项。

4 核动力厂的平面布置与结构设计方法

4.1 核动力厂布置

4.1.1 实体隔离

4.1.1.1 当实体隔离可实施时，应论证核动力厂的布置确保在受外部事件影响的区域之外，存在与受影响区域冗余的物项。

4.1.1.2 如果受外部事件影响的区域是有限的，但不限于特定的位置，则应遵守 4.1.1.1 条所述的建议，假定外部事件可能发生在场区的任何地方。

4.1.1.3 当确定核动力厂内可能受外部事件影响的区域时，系统受损对任何特定功能的可能影响也许并不明显¹²。应将安全系统及其支持系统作为整体进行评价。

4.1.1.4 在超设计基准外部事件场景中，当依赖非永久（临时移动）设备实现安全功能时，通常应论证将此类设备从存储位置（厂内和厂外）移动到现场连接点的可行性，同时考虑外部事件的影响。

4.1.2 防护结构

4.1.2.1 对于大多数外部事件，核动力厂厂房结构的设计为安全重要构筑物、系统和部件提供了良好的保护。安全重要构筑物通常由钢筋或预应力混凝土结构建造，外墙相对较厚，开口较

¹² 例如，如果无法保证附近的柴油供应来源，可根据事件造成损坏的电力线路的维修时间来确定柴油发电机所需的最少燃料贮存量。另一个例子是，由于飞机坠毁导致的通风系统故障可能引起建筑物内部温度升高，进而可能导致远离坠机区域的电气和空压设备故障。

少，如有开口一般由坚固的金属门封闭。因此，从防御外部事件设计的角度看，将安全重要物项放在构筑物内，而不将其暴露在外部环境中是一种良好的布置实践，应尽可能遵循这种做法。

4.1.2.2 某些情况下，在厂房结构内无法布置安全重要物项，如大型储罐、通风冷却塔、贮存易燃或爆炸性物质的容器。在这种情况下，当无法在冗余物项之间进行充分的实体隔离时，应在布置中考虑适用的防护外部事件的实体结构。

4.1.2.3 对于后续章节中所述的某些外部事件，其荷载是防护结构设计控制荷载，例如商用飞机恶意撞击。在这些情况下，当不能使用实体隔离原则时，应根据适用的验收准则，将结构设计成能够防御该事件。

4.1.2.4 由于没有多余的厂房，因此实体隔离原则不能用于安全壳厂房结构，设计人员宜考虑以下布置方法：

- a) 内壳位于能够承受假想外部事件的外壳或外部结构内；
- b) 将内部结构与外部的安全壳结构性解耦，以减少这些结构和安装在其上的安全重要物项的外部事件荷载；
- c) 安全壳厂房的高度尽量低，以减少飞机撞击的可能性；
- d) 在安全壳内提供冗余的、实体隔离的安全序列，能够承受假想外部事件。

4.1.2.5 作为核动力厂布置的结果，一些构筑物可以有效地保护其他结构和设备不受某些外部事件的影响，即使这些构筑物并未为此目的进行专门设计。例如：某构筑物位于结构和运输线

路之间，则该构筑物可保护其他结构免受运输线路中意外爆炸的影响。

4.1.2.6 钢或混凝土框架结构上的填充砌体墙在结构上不能有效地抵抗爆炸，应考虑采用连续配筋的混凝土墙和隔板抵抗此类荷载。

4.1.3 干厂址的概念

4.1.3.1 “干厂址”通常被视为防洪的最佳布置。按照这种布置方法，构筑物和其他对安全重要的部件应位于设计基准洪水水位之上。

4.1.3.2 当不能如 4.1.3.1 所述采用“干厂址”概念时，应布置永久性防洪屏障或采用保护措施，并且恰当确定设计基准，适当考虑洪水事件特征（如洪水水位、持续时间和相关影响）及其不确定性。

4.1.3.3 无论是否存在永久性防洪屏障，均应尽可能将安全重要设备布置在构筑物内和高于设计基准洪水水位的部位。

4.1.4 特殊考虑

4.1.4.1 应注意非安全级构筑物、系统和部件由于外部事件造成的可能失效，这些失效可能会影响核动力厂履行安全功能的能力。

4.1.4.2 屋顶设计中不允许雪、雨或冰的积聚超过屋顶设计荷载。设计应考虑排水管意外堵塞的应对措施。

4.1.4.3 在易受强风影响的厂址，设计应关注对风荷载敏感

的轻型和细长结构（如轻型屋顶、金属烟囱），因此应尽可能避免使用此类结构。应注意的是，对安全不重要的风敏感结构可能是影响安全重要结构的风载飞射物的来源。在任何情况下，当无法避免时，金属塔和烟囱应设计为对旋风荷载具有低敏感性。

4.1.4.4 有些外部事件比罕遇事件的发生更为频繁，可被视为极端事件，如当风荷载不包括龙卷风或台风时¹³。在这些情况下，外部事件荷载应与正常运行荷载和其他极端事件荷载相组合，组合系数取决于相关工程实践，例如最大风暴潮与 10 年风浪效应的组合。

4.1.4.5 核动力厂设计方案中应考虑的另一因素是积聚在天井或通道等室外封闭区域内气体的点燃。在这些条件下，爆炸可能会引起很高的局部超压。为减少此种可能性，设计应尽可能避免采用狭长通道和天井的紧凑布置方案，或设置足够的开口以防止气体达到爆炸浓度。

4.2 结构设计方法

4.2.1 总则

4.2.1.1 构筑物防御外部事件的设计一般是基于确定性分析。总体而言，有三种方法可确保实现安全功能要求：

a) 对于承受设计基准外部事件作用的构筑物或防护结构，其设计应维持构筑物所容纳设备的必要功能；

¹³ 通常情况下，设计风速选取百年一遇（年超越概率为 1%），而罕遇设计事件通常选取万年一遇。

b) 证明有一个冗余的构筑物位于设计事件的影响范围以外，该构筑物容纳的部件和系统可满足履行所承担的安全功能（例如冗余的应急柴油发电机厂房）；

c) 限制构筑物损坏后果，以满足适用的安全要求。

4.2.2 荷载选取

4.2.2.1 对于设计中要考虑的每个外部事件，应使用危险参数来得到设计和评估过程中可用的设计基准事件和超设计基准事件参数。应注意保持危险分析结果与设计所用参数的一致性。

4.2.2.2 对于所选取的外部事件，设计基准参数及相关荷载方案的选取应与对设计限值评估（如泄漏、贯穿）所需的详细水平相一致，并与所用设计程序（如线性、非线性、三维及动态分析）相关的精度相一致。

4.2.2.3 目前，计算工具的能力允许对飞机坠毁或龙卷风飞射物进行完全三维流体动力学（CFD）分析，以推导适当的荷载函数或评估结构的承载能力。在某些情况下，根据对试验数据或数值分析数据的解析，建立了简化的工程方法，可供可靠的设计过程使用。设计者应对每种技术的基本假设和适用范围进行非常系统的评价，以校核其对于所关心工况的可用性，以及与设计中总体精度水平要求的兼容性。

4.2.2.4 对于特定的设计方案特征应进行由数值分析和物理试验支持的详细研究。例如：在风荷载作用下冷却塔之间的群体效应、细高烟囱的动态放大效应，或在飞机坠毁的情况下，大跨

度弹性板的动态相互作用效应等。

4.2.3 荷载组合和验收准则

4.2.3.1 设计基准外部事件可能是非常罕见和持续时间非常短的事件。在这类情况下，任何单个事件的统计独立荷载通常仅与正常运行荷载相组合，对所有荷载使用单位荷载系数。多个设计基准外部事件荷载通常不必进行组合，例如，飞机坠毁和爆炸荷载。然而，由单个设计基准外部事件引起的所有效应应适当地分阶段和组合，必要时应适当关注组合的物理意义。因此，对于飞机坠毁，应对撞击的各种影响进行组合。此外，当事件之间存在因果关系或同时发生的相关性时，则必要时，应对其效应进行适当组合。

4.2.3.2 验收准则（例如功能、泄漏、稳定性）应根据物项类别进行评估。这种准则应从设计角度进行解读，从而导出适当的设计限值（例如允许的泄漏率、最大裂缝宽度、弹性和最大位移）。

4.2.3.3 对于设计基准外部事件荷载，设计应基本规定为弹性结构性状。只要整体结构的反应基本保持在线性范围内，且结构执行其安全功能，即可允许有限的非弹性变形。

4.2.3.4 当局部非线性变形是为了吸收荷载的能量输入时，如果整体结构的稳定性或结构构件执行其安全功能的能力不受损害，则应认为单个延性结构构件（如梁、板等）的非线性性状是可接受的。

4.2.3.5 防护子结构（如约束和飞射物屏障）唯一的功能是提供抵御外部事件作用的能力，只要其位移保持可接受，则整体结构的非线性行为是可接受的。

4.3 结构设计程序

4.3.1 为了满足设计要求，应根据结构特点、荷载函数和验收准则选择设计程序。

4.3.2 对于顺序使用数值模型的情况（如整体-局部），应注意不同模型之间的一致性，以确保最终结果对结构的反应和行为的代表性。

4.3.3 数值模型的详细程度应代表结构特性，并应符合规定的设计限值。建模和分析所用的方法（例如结构的连接、钢筋混凝土中的钢筋，结构连接节点和衬里）应视需要使用其他方法加以复核和验证。

4.3.4 对于数值模型，应针对要分析的任何特定荷载工况验证有限元网格。为了在使用网格模型时尽量减少与数值近似相关的不确定性，应进行分析，并检查结果的收敛性，这可能需要优化网格大小。离散化应与加载的频率范围相适应。短时荷载（如爆炸）可能需要使用不同于传统地震分析动力模型的专用模型。

4.4 材料特性

4.4.1 材料性能应满足材料技术规格书、施工和特定物项的安全类别所对应的质量保证要求。为了实现设计总目标，应考虑材料老化效应特性，使用强度最小验证值。

4.4.2 由于应变率效应会使强度增加，因此在考虑脉冲荷载（如爆炸或冲击）作用的设计中，应采用适当的应变率相关的材料模型进行冲击分析。

4.5 设备鉴定

4.5.1 对于在设计基准外部事件发生过程中及之后需执行安全功能的设备，应针对引发条件（包括振动荷载）进行功能性鉴定。

4.5.2 对于撞击或脉冲荷载的鉴定可能与抗震鉴定差别较大，因此应依据性能要求（稳定性、整体性及功能性）选择特定程序。鉴定条件应与需求（通常以结构支承锚固点上的振动、碰撞或脉冲作用力为代表）相比较，应根据物项分级提供充分的安全裕量。

4.5.3 适当的情况下，鉴定要求应考虑到由扬尘、烟雾、湿气、极端温度、腐蚀性大气或放射性环境条件等与机械应力组合的功能性要求。

4.5.4 对于某些外部事件（如腐蚀作用或生物现象），潜在的退化可能在相当长的时间段发生。在此情况下，一旦物项或物项的一部分面临可预计的退化，则可不提供耐久性的防护措施。监测管理的范围、周期和方法应与退化速率相匹配。安装的防护设施还应可重复使用，否则设计应允许抑制、终止或逆转该退化。

4.6 相互作用效应

4.6.1 外部事件可能引起核动力厂产生直接损坏，这种效应称为“一次效应”。另外，可能通过相互作用机制扩大破坏而产

生间接破坏（“二次效应”）。由于间接破坏造成的破坏可能与一次效应相当或更严重，因此在外部事件分析中应包括间接破坏。

4.6.2 针对防御外部事件的构筑物结构设计，设计中应考虑该事件对邻近构筑物、系统和部件造成的以下相互作用效应：

- a) 邻近构筑物的失效和倒塌；
- b) 邻近构筑物、系统和部件产生的二次飞射物；
- c) 周边贮水结构失效而产生的水淹；
- d) 容器失效或沉积物所产生的化学品释放；
- e) 由装有易燃或爆炸材料的罐体失效引起的二次火灾或爆炸；
- f) 由电气故障产生的电磁干扰。

4.6.3 应特别注重最终热阱部件（如冷却塔失效及由于最终热阱水池引起的水淹）与其他安全级构筑物的潜在相互作用效应。

4.7 结构的超设计基准外部事件评估方法

4.7.1 概述

超设计基准事件的评估准则和设计基准事件的设计准则是不同的。评估的目的是合理地表明，超设计基准事件不会损害预期的安全功能。因此，设计过程中对超设计基准事件的评估可能有意或无意引入所有安全裕量。尽管如此，设计标准与安全要求应保持一致，并考虑足够的裕量。

4.7.2 荷载选取

4.7.2.1 对于一些外部事件，可确定一些极不可能出现但仍然可信的场景，这些场景可以被选为超设计基准事件的基准。在这些情况下，超设计基准事件的基准年超越概率应比相对应的设计基准事件至少低大约一个数量级。

4.7.2.2 对于某些其他外部事件，上述方法可能导致不可信的场景。在此情况下，应采取“不确定危险”¹⁴的方法，并可通过对设计基准事件考虑充分的裕量来选取超设计基准事件。

4.7.2.3 危险参数应作为一套可用于结构评估的超设计基准参数的基础。在此过程中，应与厂址危险评价分析保持一致。

4.7.3 荷载组合和验收准则

4.7.3.1 超设计基准外部事件应被视为非常罕见，相应的荷载应只与正常运行荷载组合。

4.7.3.2 在超设计基准外部事件中，结构可能会产生大量的不可恢复的结构变形，但应建立结构验收准则，以确保满足所有相关的安全功能。

4.7.4 结构评估程序

结构评估程序通常应以获得实际（中值或最佳估计值）的结构性能为目标。

4.7.5 材料特性

¹⁴ 在本安全导则中，“不确定危险”用于表示在不完全了解危险的大小和频率的情况下提供防护危险的情况。总体来说，外部危险的标准化包络设计是一种不确定危险的方法。

材料特性应与外部事件引起的荷载工况相一致，应满足特定物项的安全类别所对应的材料规格、施工和质量保证程序要求。在对超设计基准事件的结构评估中，使用比设计保守程度低的值通常是可以接受的，例如：减小材料安全系数、使用基于结构建造材料实际测试结果的值。

5 针对外部事件的设计规定

5.1 外部洪水（包括海啸）

5.1.1 潜在洪水风险

应对厂址潜在洪水风险进行评估。这些潜在风险是由不同的初因和场景（以及相关潜在组合）所导致的。应考虑的现象包括：

- a) 风暴潮；
- b) 风引起的波浪；
- c) 海啸；
- d) 假潮；
- e) 河流和溪流洪水；
- f) 极端降水；
- g) 局地强降水；
- h) 蓄水突然泄放导致的洪水：
 - 1) 溃坝；
 - 2) 冰坝（冰塞洪水和冰坝洪水）；
 - 3) 厂址贮水（最终热阱）。
- i) 涌潮或机械导致的波浪；
- j) 河流改道；
- k) 地下水高水位。

5.1.2 洪水事件

应考虑导致下列一种或多种效应的场景，包括洪水事件持续过程。

- a) 风浪和爬坡效应。
- b) 水力和其他荷载：
 - 1) 静态水荷载；
 - 2) 动态水荷载；
 - 3) 波浪荷载；
 - 4) 浮力（竖向静水荷载）；
 - 5) 泥石流荷载；
 - 6) 泥沙荷载。
- c) 侵蚀和泥沙淤积。
- d) 同时发生的厂址情况，包括恶劣天气情况。
- e) 地下水渗入：
 - 1) 渗漏和地下水流入；
 - 2) 泄漏。

5.1.3 水对稳定性的影响

设计时应考虑由于水渗入核动力厂内部，而引起水压作用到墙和基础上，进而可能对结构承载力或稳定性造成影响。地下水可能影响土体或回填土的稳定性。厂区排水系统的丧失或堵塞也可能导致厂区洪水增加。

5.1.4 水的动力和静力效应

设计应考虑水的动力和静力效应，因为水有可能会破坏核动力厂的结构和地基，也有可能会破坏位于厂址上的各类系统和部件。此外，地下水可能侵蚀厂址边界、冲刷周边结构或侵蚀内部回填土。

5.1.5 危险特征参数

5.1.5.1 风暴潮分析应包括对静水位的评估，或具有相应的年超越概率的水位分布，取决于所使用的方法（确定论或概率论）评估。

5.1.5.2 风浪分析应包括评价由于风浪活动和沿海岸或结构的波浪爬高而引起的水位上升。此外，还应考虑与波浪对核动力厂结构产生动力效应有关的参数（通常是波浪动力学参数）。加载和卸载分析应包括水动力效应、静力荷载效应、侵蚀和沉积以及其他相关效应。

5.1.5.3 海啸洪水分析应包括评价最高水位、事件持续时间、爬高、淹没水位、回水效应、最低水位和水位下降到取水口以下的持续时间。加载和卸载分析应考虑水动力效应、静荷载效应、水生飞射物、侵蚀和沉积以及其他相关效应。

5.1.5.4 对于厂址附近地震引起的海啸，在评估大规模地震断裂带附近区域估计水位的潜在负面影响时，应考虑地表的抬升和下沉。

5.1.5.5 假潮危险分析应包括评价最大和最小爬高、持续时间、5.1.2 中所列的静荷载效应和水动力效应。

5.1.5.6 针对河流洪水的设计应考虑所有类型的洪水，包括洪水的持续时间、溃坝、现存防洪和航道系统的影响。在河口处，设计应考虑高潮位、波浪效应、风浪高水位和河流高水位的组合。

5.1.5.7 在针对厂址局地降水所引发洪水的设计中，应考虑厂坪、厂址和构筑物排水、地表水流和厂外区域向厂址的排水。设计参数应包括流量和持续时间、洪峰水位、水位时程和平均流速，用于计算水动力的荷载及厂址潜在泥沙淤积和侵蚀。

5.1.5.8 由于封闭水体突然释放引起的洪水的特征参数应包括：

- a) 整个洪水事件期间的预期流量；
- b) 厂址处的峰值水位和水面高程时程；
- c) 潜在的取水口堵塞或破坏；
- d) 碎片或冰产生的动力和静力。

5.1.5.9 溃坝洪水的特征参数还应包括预警时间。

5.1.5.10 描述涌潮和机械波的参数应包括最大爬高、持续时间和潮位波动影响。

5.1.5.11 厂址附近区域内的高地下水位通常是其他现象引起的后果，例如附近河流或海洋的水位上升、强降水或水利设施的破坏。应确定诸如极端地下水位和结构上的相关压力等参数。

5.1.5.12 局地降水引起的洪水适用于所有厂址。其他洪水现象是否适用取决于厂址位置、是否在河流沿岸、是否在海岸或湖岸或河口。

5.1.5.13 所有位于海岸、河口及受潮汐影响的河流区域的厂址，均应确定潮位范围。

5.1.6 防洪设计参数

5.1.6.1 设计基准洪水工况可能来自一个极端事件，或者更多时候来自多事件的组合。如 5.1.5.1-5.1.5.13 所示，它们表现为水位、水的流速、水的流态、地下水位以及所有引起洪水的各种事件的组合。水对厂址保护措施和厂址结构的作用可能是静态的，也可能是动态的，也可能是组合效应。在许多情况下，洪水和波浪（或涌浪）携带的冰或碎片的影响是结构压力评价的重要因素。

5.1.6.2 应保护安全重要构筑物、系统和部件，以免其因洪水而受损。此类构筑物、系统和部件的设计基准应根据其所处位置的洪水效应来确定。应考虑任何局部因素（例如厂址布置及地形、厂坪、相邻构筑物、流向、取水构筑物和最终热阱型式）可能对荷载工况的影响。

5.1.6.3 海平面的降低可能是由风暴潮、假潮（或海啸）引起的。还应考虑低水位（包括水位下降）对安全重要物项（包括最终热阱）的影响。

5.1.6.4 在厂址发生局地极端降水时，应依靠排水系统和地面径流，且设计应具有足够的安全裕量。在进行洪水分析时，应考虑厂址排水系统的丧失或堵塞。

5.1.7 洪水的防护措施

5.1.7.1 核动力厂应通过以下一种或几种防护措施来抵御设计基准洪水位。

a) 4.1.3.1-4.1.3.3 所定义的干厂址概念，即核动力厂标高，包括所有安全重要物项均位于设计基准洪水位以上，且留有足够的裕量。

b) 永久性屏障，例如挡水墙，以防止洪水影响安全重要构筑物、系统和部件。

c) 其他工程措施，以保护可能受洪水影响的安全重要构筑物、系统和部件，主要包括以下几方面措施。注意，相对于临时防护措施，应优先使用永久防护措施。

1) 防波堤；

2) 厂坪及排水系统；

3) 水密门和贯穿件；

4) 临时水密屏障，如必要时安装水闸、沙袋、充气护堤等。

5.1.7.2 对于新建核动力厂，对阻止堆芯损毁、早期或大量放射性释放最终所必需的所有构筑物、系统和部件，其高程应高于设计基准洪水位。或者，宜配备足够的专设安全设施（如水密门等）来保护这些构筑物、系统和部件，并确保可以维持缓解措施。对于新建核动力厂，干厂址要优于受永久性外部屏障保护的厂址。对于已有核动力厂，可能仅能采取配备足够专设安全设施的方式。

5.1.7.3 当无法对所有安全重要物项使用干厂址概念时，布置方案应采用具有适当设计基准和足够裕量的永久防护屏障（如防止水动力作用、漂浮物的撞击、地震）。

5.1.7.4 当采用土工结构（例如防波堤）作为永久屏障抵御洪水，保护安全重要构筑物、系统和部件时，其设计应保证其在设计基准荷载工况下的稳定性。在评估构筑物的潜在破坏时，应考虑洪水和其他相关效应的影响。

5.1.7.5 应将洞口（如水密门）作为永久性屏障进行恰当的设计，使其功能符合设计基准的荷载工况。

5.1.7.6 若将外部屏障、天然或人工岛作为防设计基准洪水的永久屏障，则应将其作为安全重要物项进行设计、建造和维护。

5.1.7.7 如果需要通过回填将核动力厂抬高至设计基准洪水位以上，则应将其作为安全重要项目，进行适当的设计和维护。

5.1.7.8 应提供洪水监测系统，以探测厂址可能发生洪水的潜势。如有可能，应提供足够的预警时间使核动力厂达到安全状态，并实施适当的程序。应制定响应洪水工况实时监测数据的特定操作程序。

5.1.7.9 洪水监测系统的设计应能承受设计基准洪水。如有必要，应保护监测系统免受水动力作用和漂浮物碰撞造成的破坏。

5.1.8 滨海厂址

对于滨海核动力厂，应考虑以下与设计荷载工况相关的效应：

a) 爬高和海水位；

- b) 水位降低；
- c) 静水、动水和波浪力；
- d) 浮力；
- e) 漂浮物碰撞（如原木、船只、驳船）；
- f) 侵蚀和淤积；
- g) 震后对防洪和缓解设备的影响。

应当考虑到诸如泥沙运动、漂浮碎片碰撞等可能同时发生的影响。

5.1.9 滨河厂址

5.1.9.1 针对河流洪水的核动力厂设计宜酌情考虑与滨海厂址类似的荷载现象（见 5.1.8），以及与大坝和航道系统相关的运行数据。河流洪水的独特特征包括洪水事件的持续时间延长（数周或数月）和溃坝效应。

5.1.9.2 应对寒冷气候下的河流洪水进行分析，以考虑冰坝形成和可能对结构造成物理破坏、阻碍取水或破坏排水系统的大块浮冰、泥沙和碎片的输送。潜在的冰坝形成和溃坝会对厂址产生洪水或造成低水位。应特别考虑与冰坝形成和垮塌而引起的洪水相关的潜在短预警时间。

5.1.10 超设计基准外部洪水的评估

5.1.10.1 根据厂址条件对可能引起水淹事件的各项因素进行梳理和排查，复核确认原设计所采用的设计基准洪水位的有效

性。运行核动力厂在复核中应考虑最新的观测分析数据，考虑建厂以来厂址周边环境变化等因素。

5.1.10.2 根据厂址条件确定适当的超设计基准洪水场景（如设计基准洪水位情况下，叠加千年一遇降雨），复核厂区排洪能力、评估厂区积水深度。根据评估结果，采取地上防水淹措施，防止厂区积水不受控制地进入安全重要厂房（如：核岛厂房、重要厂用水泵房、应急柴油发电机厂房、厂址附加柴油发电机厂房等）。

5.1.10.3 对与安全重要厂房相连接的地下管廊等通道进行全面排查，重点考虑水淹可能导致核动力厂三大基本安全功能失效的地下管廊和房间，根据实际情况，采取地下防水淹措施。要求通过地下管廊等通道的地下防水淹措施，保证在上述水淹场景下和应急补水能力接入之前，至少有一个余热排出的安全序列可用。

5.1.10.4 必要时，应开展地下防水淹措施的专项技术研究，待技术成熟后对贯穿部位实施有效的地下防水淹措施。

5.1.10.5 地上和地下防水淹措施一般均应采用永久性防水封堵，对于无法采用永久性防水封堵的情况，经评估后可采用临时性防水淹措施，并应制订合适的程序指导临时措施的使用。

5.2 极端风

5.2.1 与危险评估的接口

5.2.1.1 对于极端风，厂址评估中最关心的结果是开阔地形和指定高度（通常为地面以上 10 米）的风速危险曲线（如中值、平均值和其他分位数，离散曲线族）。

5.2.1.2 评估的结果用于确定设计基准风速。设计基准风速值应与国家核安全监管机构确定的设计基准外部事件要求一致。

5.2.1.3 核安全级构筑物极端风设计基准一般取百年一遇 3 秒阵风风速。此外，还应考虑局地地形的影响，地面粗糙度依据国家标准 GB 50009《建筑结构荷载规范》取值。

5.2.1.4 对于某些厂址，除了考虑与“极端”气象现象相对应的设计基准风速外，还应考虑与“罕见”气象现象（如龙卷风和台风）相对应风速。在设计中，前一种现象通常被视为极端工况，后一种则被视为罕见工况。

5.2.1.5 除非有明确的证据表明极端风的首选风向，否则通常应假定设计基准风速的风从最不利方向吹来。

5.2.2 荷载推导

5.2.2.1 由风速和持续时间得出的结构荷载应以暴露表面的风压力/吸力的形式获得。

5.2.2.2 实际的风荷载应由风速计算确定，并应考虑体型系数和风速的竖向分布。风荷载体型系数和风压高度系数参见 GB 50009。

5.2.2.3 通常在核动力厂的设计中，风荷载一般可作为构筑物的静载考虑。对于固有频率小于 1Hz 的构筑物，应考虑风载引起的结构动力效应。

5.2.2.4 作用于核动力厂构筑物上的风与处于开阔地形中的风不同。在设计中应考虑构筑物的影响，如扰动效应和塔群效应等。扰动效应，例如被其他建筑物遮挡或建筑物之间通道的文丘里效应，可能会对风压产生重要影响。这可能会导致通过狭窄空间的风速增加，或由于障碍物而使风速减缓。风在建筑物周围形成通道可能对风力有非常重要的影响。强风会导致冷却塔倒塌，这是“塔群效应”的结果（即由于结构之间的相互作用而倒塌，即使该冷却塔单独设计时可以承受更高的风速），在设计中应考虑这些效应。

5.2.2.5 风荷载与其他设计荷载的组合可能因风的来源而异。对于“直线”极端风荷载，通常使用比罕见气象现象（如台风和热带气旋）产生的风荷载更大的荷载系数。在龙卷风引起旋转风的情况下，结构物一个表面上的风向可能与另一个表面的风向不同，甚至相反。设计中应考虑此类荷载条件。

5.2.3 设计和鉴定方法

5.2.3.1 局部响应

a) 第一种应考虑破坏模式是表面直接暴露于风压和吸力的局部结构破坏。构筑物围护部分（墙壁、立面板、屋顶板、门等）用于将风荷载传递到建筑物的主体结构体系。通常这些破坏

不会引起主体倒塌，但可能会影响破坏邻近的构筑物、系统和部件，此外，还会引起建筑物内环境压力的变化。应对这些破坏模式进行抗风承载力分析，包括对围护结构构件本身的结构承载力进行评估，以及对与主体结构连接部件的承载能力进行评估。

b) 在分析建筑物内构筑物、系统和部件的损坏时，应保守地假定围护结构的破坏将导致由围护结构破坏部分所保护的所有敏感设备都被破坏。

5.2.3.2 整体响应

第二种应考虑破坏模式对应于风荷载作用下构筑物主体结构体系的整体破坏或整体失稳。这种破坏模式会导致构筑物主体结构体系的倒塌。对整体破坏模式进行抗风承载力分析时，应对主体结构体系在风荷载作用下的结构承载力进行评估。

5.2.4 龙卷风飞射物的撞击

a) 龙卷风产生的空气动力可以使物体加速，并产生撞击构筑物、系统和部件的飞射物。由此产生的撞击荷载是龙卷风的主要荷载效应之一，在设计中应予以考虑。

b) 应进行龙卷风飞射物分析，以识别潜在的飞射物。这种分析通常遵循确定论方法，并考虑不同飞射物类型和最大速度的范围。管理程序可以减少要考虑的飞射物类型的范围，然而，这种程序只有当确保持续有效时才是可信的。

c) 飞射物的撞击效应包括受撞击构筑物、系统和部件的局部响应（例如：侵彻¹⁵、剥裂¹⁶、碎甲和贯穿）和整体响应（如受撞击墙体边缘支承处的动力剪切效应）。局部响应效应的估计应考虑飞射物类型和目标材料。当与总体响应相关时，应通过考虑飞射物变形或撞击力时程的动态分析来评估总体响应。

d) 飞射物的速度和方向是确定飞射物撞击效应的重要输入参数。通常，应假设最不利的飞射物碰撞速度矢量，应假设飞射物轴线与速度矢量在同一直线上。

5.2.5 大气压力的变化

a) 大气压力变化荷载由涡旋经过构筑物时大气压力的变化引起。对于龙卷风应特别考虑这种荷载，龙卷风存在相对较高的平动风速和快速旋转涡旋中心的显著压降的组合。

b) 应使用龙卷风风场模型估算压差荷载，并了解构筑物可能的通风排放速率。

5.2.6 沙尘暴

a) 防御沙尘暴设计，除了风速外，还需要考虑持续时间、灰尘或沙粒的物理化学性质，以及沙尘暴期间空气的预期沙尘荷载（单位： mg/m^3 ）；

b) 设计中应考虑以下因素：

1) 有效空气密度增加，从而在暴露的表面上产生较大的风压；

¹⁵ 侵彻是飞射物撞击目标被撞击面形成凹陷但并未穿透。

¹⁶ 剥裂是飞射物撞击目标使目标的材料从撞击面剥落。

- 2) 由于灰尘或沙子积累而产生的影响，可能会增加屋顶和墙上的荷载，并阻塞通道；
- 3) 取暖、通风、空调系统或应急柴油发电机的进气口过滤器可能堵塞；
- 4) 对设备的磨损和腐蚀影响，尤其是长期影响；
- 5) 沙尘暴期间难以进行辐射监测；
- 6) 能见度降低条件下的现场管理和通信；
- 7) 最终热阱中沙的沉积。

5.2.7 极端风的各种影响

a) 除了影响构筑物、系统和部件的结构完整性，极端风也会引起其他效应，在设计时均应考虑，举例如下：

- 1) 压差会影响通风系统；
- 2) 由风夹带的沙尘可能破坏暴露表面并妨碍部件及设备的功能；
- 3) 盐雾会危害电气设备的功能；
- 4) 导电飞射物（如钢质墙板）会引起开关站短路。

b) 应评价最终热阱及其相关传输系统，以保证极端风造成的水位变化不会妨碍余热的导出与吸收。适当时应考虑效应的可信组合。

c) 风作用会引起非安全重要构筑物、系统和部件与安全重要结构发生相互作用，设计时应应对这种效应进行考虑，例如风荷载导致位于安全重要结构外的大型起重机倒塌。对此种情况应进

行专项分析，如有需要，应提供适当的防护方法，例如实体隔离或设置防护结构。

5.2.8 极端风的防护措施

a) 对于极端风，核动力厂中设计的构筑物通常对安全重要物项提供了良好的防护。因此，对于防护极端风设计，安全重要物项应位于构筑物内，并应尽可能不将这些物项暴露在外部环境中。

b) 对位于构筑物外的安全重要敏感物项，应进行风载飞射物的防护设计。敏感物项包括仪器仪表、小管和油管、玻璃或陶瓷部件、刻度盘或仪表、暴露的皮带、电机上的链条或联轴器。防护等级应与设计中考虑的飞射物类型和最大速度的范围相一致。也应考虑适当地固定外部设备或材料，以有效防止风载飞射物的产生。

5.3 其他极端气象条件

5.3.1 概述

核安全导则 HAD101/10《核电厂厂址选择的极端气象事件（不包括热带气旋）》提供了极端气象条件特定厂址审查指导，包括以下分类：

- a) 极端气温和湿度；
- b) 极端水温；
- c) 积雪；
- d) 冻雨和相应的霜冻现象；

- e) 雷电;
- f) 沙尘暴。

根据厂址所在区域气候变化演变速率、范围和程度情况，必要时应考虑气候变化对极端气象条件的影响，并在相关防护设计基准中进行恰当的考虑。

5.3.2 极端气温

5.3.2.1 危险现象

a) 极端气温会影响安全级暖通空调系统的可用性，导致房间温度不满足设计要求，从而对房间内的安全重要物项产生影响。极端气温对构筑物以及暴露在外部环境中的物项也会产生影响。

b) 核动力厂的设计和安全分析应考虑极端气温可能造成核动力厂外部电网不可用。

5.3.2.2 设计基准

安全重要供暖通风与空气调节系统应考虑设计基准室外气温，包括干球温度、湿球温度（或焓值）。

5.3.2.3 防护措施

a) 核安全级构筑物应考虑设计基准气温产生的热荷载，确保在设计基准气温条件下构筑物的安全功能不受影响。

b) 安全重要暖通空调系统应考虑设计基准气温参数，采取一定的设计措施，确保房间内的温度满足设计规定。

c) 设计基准气温会对暴露在外部环境中的物项产生影响，因此安全重要物项应尽量布置在构筑物内。

d) 对位于厂房外的安全重要物项，应进行设计基准气温防护设计。如户外的冷却水管道，若设计基准低气温较低，应考虑采取防冻措施（如采用电伴热），确保在设计基准低气温条件下其安全功能的可用性。

e) 应采取措施确保向最终热阱传热的设施在设计基准气温条件下维持其功能，如采用电伴热等。

5.3.3 极端积雪

5.3.3.1 极端积雪评价考虑的参数

核安全导则 HAD101/10 提供了对于极端积雪评价的建议。评价时应考虑的参数包括：冬季降水量、降雪和雪覆盖。

5.3.3.2 极端积雪评价的结果

极端积雪评价的结果用于确定设计基准积雪。设计基准积雪的确定方法应与核安全导则 HAD101/10 中的要求保持一致。

5.3.3.3 压力荷载

设计时应考虑降落在厂区核设施上的积雪可能产生的压力荷载作用，其作为潜在风险可能会对核设施的承载力或稳定性造成影响。

5.3.3.4 积雪的潜在影响

积雪可能影响通风进风口和排风口、柴油发电机进风口、进入安全级设施的可达性和应急车辆的可移动性，影响容纳安全重要系统房间的暖通空调系统安全（尤其是电子设备），以及最终

热阱的可用性。应在核动力厂的设计和安全分析中考虑这些潜在影响。

5.3.3.5 荷载推导

a) 计算核动力厂屋面雪荷载时，应考虑屋面积雪分布系数，不同形式屋面的分布系数取值可参考 GB 50009；

b) 设计核设施及屋面的承重构件时，应按下列规定采用积雪的分布情况：

- 1) 屋面板和檩条按积雪不均匀分布的最不利情况采用；
- 2) 屋架应分别按全跨积雪的均匀分布、不均匀分布和半跨积雪的均匀分布的最不利情况采用；
- 3) 框架和柱可按全跨积雪的均匀分布情况采用。

5.3.3.6 设计方法与防护措施

a) 核动力厂应遵循相关规范和标准进行积雪防护的结构设计，设备应依据其安全分类和性能要求进行鉴定。

b) 在核动力厂设计和安全分析中，应考虑积雪对通风进风口和排风口、柴油发电机进风口、进入外部安全级设施的可达性与应急车辆的可移动性等的影响。

c) 在核动力厂设计和安全分析中应考虑积雪对安全重要物项的影响，尤其是对电气设备，以及最终热阱可用性的影响。

d) 即使不需要厂外广泛的补给能力，也应确保降雪条件下核动力厂的补给供应。应考虑降雪及化雪过程中，环境温度下降

对供水管道的影响，并在适当时提供沿途加热或保温措施，以保证供水管道正常运行。

e) 应采取措施，通过测试和分析来确定在积雪条件下提供传输最终热阱热量的设施将保持其功能，尤其是在设施长期未使用的情况下。这些措施包括：有助于监测喷嘴可运行性的措施或滤网，以检查它们不会被阻塞；为防止厂用水被堵塞，应采取措施，如格栅加热或考虑冷却水取水的替代路径；应对适当的仪表、警报以及相关程序及培训提出规定。

5.3.4 冰的影响

5.3.4.1 冰对核动力厂的影响主要包括三个方面：一是对洪水水位的影响，二是造成堵塞对取水安全的影响，三是对构筑物产生动力和静力的作用。

5.3.4.2 冰对洪水水位的影响应考虑下列因素：

- a) 冰情，包括潜冰、底冰、表面冰和冰堵；
- b) 由于冰的覆盖和冰的阻塞所引起的回水；
- c) 在封闭水体上的冰脊；
- d) 由于冰和雪的滑动所引起的阻塞；
- e) 由于冰雪的滑动所引起的波浪或假潮。

5.3.4.3 取水工程的过滤设施，如进水口拦污栅、水泵阀门和控制设备等，应考虑冰的堵塞影响。

5.3.4.4 堤、坝、进水口闸门和控制设备等取排水构筑物及相关设备，应考虑冰的荷载作用。

5.3.4.5 应开展厂址附近水域的冰情查勘，确定冰的可能厚度、冰的堆积、密集度、出现率和结冰的持续时间，以及正常的和极端的冰季时间等设计参数。

5.3.4.6 核动力厂厂址设计基准洪水组合事件应按照 5.1 条款的要求考虑冰情影响。

5.3.4.7 核动力厂厂址附近水域有结冰及流冰情况时，安全级取水构筑物位置及形式选择应避开有浮冰撞击的区段，或在取水口前设立导冰、拦冰设施及采用热水回流融冰等措施，确保核动力厂的取水安全。

5.3.4.8 核动力厂取水构筑物的进水孔淹没深度，应考虑结冰对设计最低水位的影响。

5.3.4.9 核动力厂厂址附近水域水深较浅且冰凌多时，不宜采用淹没式取水口形式。

5.3.4.10 取水系统过格栅流速的确定应考虑水中冰絮的影响。

5.3.4.11 安全级构筑物的设计，应考虑承受可能最大的冰荷载，必要时应进行试验研究确定。

5.3.5 极端水温

5.3.5.1 极端水温包括极端高水温和极端低水温，会对以水体作为最终热阱的核动力厂冷却系统造成影响。

5.3.5.2 极端高水温会影响冷却系统的冷却能力。极端低水温会影响冷却系统的正常运行。

5.3.5.3 正常运行工况下，核动力厂直流冷却重要厂用水系统设计基准水温采用每年最高第七个日平均水温的历年平均值，并考虑温排水对取水水温的影响；事故工况下，设计基准水温采用历史最高水温。

5.3.5.4 核动力厂应评估超设计基准水温工况下最终热阱的有效性，保证核动力厂的安全。

5.3.5.5 极端温度的出现一般与季节有关，核动力厂营运单位应制定程序预案，采取不同级别的应急响应措施，如增加或减少冷却水系统参与冷却的流量、停运部分设备、降功率等，确保核动力厂最终热阱可靠性不会受到极端水温的影响。

5.4 火山

5.4.1 应识别并评价核动力厂寿期内可能发生活动且对厂址安全有潜在影响的火山。评价中应按照区域特征选取足够大的范围，以恰当考虑各种火山现象引起的灾难性后果。

5.4.2 评价中应恰当地考虑资料、方法、模型中的不确定性。

5.5 外部火灾

5.5.1 概述

5.5.1.1 源于厂外的火灾（如源于燃料贮存、汽车、管道或化工厂，以及自然植被）可能影响核动力厂的安全。应考虑外部火灾期间厂址的可达性。对于滨海厂址应考虑燃油溢流到海洋的可能（通过事故船舶或采油平台）。如果必要，应考虑采取适当

的措施设立隔离区。核安全导则 HAD101/04 提供了识别和评价外部人为事件火灾危险的相关内容。

5.5.1.2 在假定有飞机坠毁场景的厂址，坠毁事件通常与燃料释放相关，多数可能被点燃，这可能导致伴生爆炸。飞机的部分可燃部件和装载物也可能参与燃烧。对于此类事件采取的设计措施通常应包络对上述其他外部火灾场景的措施。应根据第 5.9 节中的建议考虑此类火灾。

5.5.1.3 核动力厂的设计应防御由外部火灾造成的烟雾或热辐射对重要安全功能实施的影响，和对厂址内安全级构筑物稳定性的影响。

5.5.1.4 通风系统可能受烟雾或热辐射的影响。为防御烟雾或热辐射影响，安全系统应设计冗余部分并防止造成重要安全功能的丧失（包括操纵员行动）。

5.5.1.5 当核动力厂需要考虑厂址或厂址附近的飞机坠毁事件时，应进行此类事件的火灾效应分析。在此分析中应考虑由于飞机燃料和燃烧碎屑的飘散，使得火灾可能在不同位置发生并产生烟雾的情况。针对这种火灾，经过特殊训练的厂内厂外消防人员需要使用特殊设备（如泡沫发生器及防护工具等）防止火灾蔓延影响安全重要物项。

5.5.2 火灾荷载

5.5.2.1 火灾危险性分析应考虑假想火灾的特征，包括热释放量，火焰面积、火焰形状、目标物视角因数，火灾蔓延速度和

持续时间，同时宜明确烟气蔓延等二次效应场景。应对进风管道上过滤器被上升的火焰引燃和损坏进行研究。

5.5.2.2 由燃料贮存、汽车、灌木丛、煤炭或木材等引起的外部火灾应与正常运行荷载组合。由飞机坠毁等情况引起的火灾应以同样的设计假定及同样的火灾荷载组合予以考虑。

5.5.3 设计方法

5.5.3.1 应针对维护结构承受这种环境条件的固有能力和评价结构对外部大火引起的高温外部环境的薄弱性。应基于材料吸收热荷载而不超越适当结构准则的能力进行验证。混凝土耐火能力主要取决于厚度、骨料组成、钢筋的保护层及内表面的极限温度¹⁷。结构极限准则可能是位于临火面第一排钢筋处的温度及暴露于火灾表面的烧蚀。

5.5.3.2 为承受由飞机坠毁引发的撞击荷载而设计的钢筋混凝土结构通常足以承受由外部火灾场景造成的结构构件失效。一般来说钢结构暴露于大火的承受能力有限。因此直接暴露于外部火灾的承担安全功能的结构不宜采用钢结构作为承载构件。如果钢结构的耐火性能依赖于与外部涂层的分离或膨胀冷却，应验证此类防火措施不会受到与火灾场景（如爆炸冲击波与飞射物）相关的二次效应的不利影响。

5.5.3.3 为了保护容纳在受影响房屋内的安全级物项，应评估与内表面及室内气温相关的其他准则。如果为满足其他要求而

¹⁷ 尤其应关注高强混凝土的耐火性能。

提供了足够的厚度，这些准则通常不会被超出。还应核查所有类型的设计贯穿件。

5.5.3.4 在一些情况下，当混凝土厚墙或厚板暴露于火灾时，结构分析应考虑由于火灾产生的温度梯度和在火灾条件下的任何附加运行荷载（如消防水）。依据极端荷载工况，在假想火灾荷载条件工况下的极限荷载设计荷载系数可取 1.0。核设施材料的选择应考虑火灾危险性的国际规范和标准，以及受火焰、热等现象影响的材料的耐火性能。

5.5.4 防护方法

5.5.4.1 核动力厂防御外部火灾可通过将发生火灾的可能性最小化及当需要时通过加强外部火灾屏障来实现。还应提供其他设计特性，如安全系统的冗余、实体隔离、划分防火分区或特殊屏障，以及使用火灾探测与灭火系统。

5.5.4.2 如果结构的固有承载力不足，则应提供附加屏障或物理隔离。此外，耐热涂层或膨胀涂层可对结构构件提供额外防护。但是，应验证这种改进不受二次效应的影响。

5.5.4.3 通风系统应具备通过风门与外界空气隔离的能力，并提供替代措施来实现通风系统的功能。服务于一个安全系统的通风系统的进、排气应与服务于其他冗余安全系统的进、排气分离，以确保外部火灾不会妨碍必要安全功能的执行。

5.5.4.4 核动力厂的设计应保证需要执行安全功能的所有柴油发电机和其他应急电源有充足的空气供应。此目标应通过将进风口分隔一定的距离来保证。

5.5.4.5 应对易受热辐射、烟雾和灰尘影响的安全级电缆、仪表和控制系统进行鉴定，否则应防止此类危险发生。

5.6 外部爆炸

5.6.1 概述

在本导则中，通常使用“爆炸”一词来表示所有涉及固体、液体、蒸气或气体的物理、化学反应，其可能导致周围空间内的压力大幅上升，并且可能导致着火或高温。气体或蒸气云的爆炸会影响整个核动力厂区域，应分析核动力厂结构抵御气云爆炸效应的能力，以评估其承受超压（正压和负压）荷载的能力。但是，还应考虑其他可能因爆炸引起的效应：火灾、热流、烟雾和热气流、地面和其他振动以及爆炸产生的飞射物。

5.6.2 爆炸效应

一般情况下，在分析核动力厂的反应时应考虑以下爆炸效应：

- a) 入射和反射压力；
- b) 超压和负压的时间相关性；
- c) 冲击波产生的飞射物；
- d) 爆炸引发的地面震动（主要由爆震引起）；
- e) 热通量或火灾。

5.6.3 爆炸飞射物

如果核动力厂的设计可抵御由龙卷风或飞机坠毁等事件产生的外部飞射物的影响，则爆炸产生的飞射物的影响可能已经被包络在内。但是，如果能够识别出由爆炸引起且后果特别严重的飞射物，则应在核动力厂设计中考虑该飞射物。如果设计基准中不考虑来自飞机坠毁或自然现象的飞射物，则应考虑潜在的爆炸产生的飞射物。

5.6.4 与危险评估的接口

5.6.4.1 对于安全级构筑物，外部爆炸物品的加工、装卸、运输或贮存期间的爆炸，应在厂址外部事件评估中予以考虑。爆炸可能来自固定或移动源项。爆炸评估的结果应包括潜在爆炸源的清单，爆炸物质的相关数量和性质、与厂址的距离以及从爆炸源到厂址的方向，有时也会给出每个源的年爆炸频率。

5.6.4.2 应采用以下方法之一确定设计基准参数，以保护核动力厂免受爆炸冲击波造成的不可接受的破坏：

a) 如果核动力厂附近有一个潜在源，其假想外部事件可能产生冲击波，则应按核安全导则 HAD101/04 计算传播至核动力厂产生的冲击波和相关阻力作为设计基准；

b) 如果已有防护其他事件（如龙卷风）的设计要求，则应计算相应超压的阈值。该值用于确定核动力厂和任何潜在爆炸源之间的安全距离（间距）。

5.6.5 荷载

5.6.5.1 不同于固体的爆炸，液体、蒸气和气体的爆炸，此类材料的冲击波压力输出有很大的变化。在多数情况下这些材料的爆炸是不完全的，应考虑只有爆炸物总量（有效装药量）的一部分与爆炸过程有关。应对总质量中假定参与爆炸的部分进行保守的估计。

5.6.5.2 应研究由于气云中的障碍物产生的潜在火焰加速度和超压。障碍物主要考虑为：设备、管道和结构等。但也有可能由于树木和灌木丛使火焰加速。

5.6.5.3 由外部爆炸产生的荷载和热效应只与正常运行荷载进行组合。

5.6.6 爆震

5.6.6.1 应利用工程实践中的多种方法之一来确定爆炸产生的爆炸压力荷载，这些方法主要是为化工厂的风险分析而开发的：TNT 当量、多能量法、Baker-Strehlow 法和流体动力学方法。在固体爆炸的情况下，TNT 当量法是最广泛采用的方法。在气体或蒸气云情况下，可依据爆炸的高度和反应特征采用其他方法。

5.6.6.2 出于结构设计或评估的目的，应考虑入射冲击波和动态风压两者随时间的变化，因为结构在爆炸荷载作用下的响应取决于荷载的时程以及结构的动态响应特性。

5.6.7 爆燃

5.6.7.1 爆燃荷载的确定与爆震荷载不同。爆燃荷载应采用与爆震荷载相同的程序，但应适当保守地减少爆燃材料的量。

5.6.7.2 火灾应作为爆燃的二次效应考虑。如此考虑时，应遵循 5.5 节和核安全导则 HAD102/11《核动力厂防火与防爆设计》中的条款。

5.6.8 设计和鉴定方法

5.6.8.1 通过将结构设计为能承受爆震或爆燃的爆炸效应，可确保防护外部爆炸的效应。设计应包括以下步骤。

a) 定义作用在结构上的爆炸压力和动（风）压力，包括因为墙体上产生的任何方向的反射。设计需要压力的时程。

b) 获得作用于结构外表面的压力。

c) 确定结构的抵御能力时应假设结构具有弹性或弹塑性特性。阻尼取决于验收准则，根据材料应变极限和结构变形极限进行定义。通常，整体抵抗力由局部失效控制（如外墙板）。

d) 计算结构承受 b) 中的压力反应，可使用简化模型（如单自由度模型）或复杂模型（如非线性有限元模型）进行计算。在任何情况下，即使使用准静态计算，也应考虑荷载的动态特性和结构反应。注意，爆炸引起的结构有效荷载和相关的动态风荷载不仅是荷载的动力特性的函数，而且是结构动力反应特性的函数。

e) 对比结构反应和结构抗力，必要时进行设计修改。在进行对比时，有可能需要降低 c) 中的结构抗力以考虑维持正常运行荷载所需的结构承载力。

f) 当用于计算结构反应 d) 的模型中不包括主体结构体系时, 应校核主体结构体系承受直接受爆炸荷载的外墙传递来的荷载的能力。

g) 校核结构的抗倾覆和滑移稳定性。

5.6.8.2 定义特定结构反应的最小参数时, 应包括荷载形成时间及其峰值, 以及结构呈现的阻尼和最大延性水平。

5.6.8.3 在评估爆炸效应时, 应区分构筑物的局部和整体反应。局部反应与外墙构件相对于其支撑构件(围梁、檩条、梁和柱)的反应有关。整体反应通常与主要承载系统有关, 该系统通常包括框架、梁、柱、斜撑、剪力墙和楼板隔板。

5.6.8.4 直接暴露在爆炸荷载下的外墙或屋顶构件应基于其局部反应进行详细评估。

5.6.8.5 对于构成结构主要荷载路径的整体结构构件, 荷载峰值被直接暴露在爆炸中的外部构件的弹塑性特性阻断。在这种情况下, 如果合理的话, 通常可以使用简化的方法来校核主要荷载路径承受从外部传递过来的荷载的能力。

5.6.8.6 应评价爆炸在构筑物中引起的振动荷载, 如果振动荷载较大, 则应计算部件和设备的动态设计相关的响应谱。

5.6.8.7 应评价爆炸对供气和通风系统的直接和间接影响。即使系统位于结构内部, 分析也应验证管道没有因受到冲击波的破坏而无法完成安全功能, 并且空气和通风系统中的任何阻尼器都能执行其所需的安全功能。

5.6.9 隔离距离

5.6.9.1 通过设置爆炸源和目标构筑物、系统和部件之间的适当隔离距离，也可以确保防止外部爆炸的影响。与核安全导则 HAD101/04 中描述的厂址危险评估中进行的安全距离研究的不同之处在于，现在已知核动力厂的布置，并对结构进行了预布置。因此，在设计阶段，应根据更准确的信息验证安全距离。

5.6.9.2 在计算以隔离方法进行保护的距離时，应采用峰值超压和热量的衰减作为与爆炸源距离的函数。将其他物质折算为适当的 TNT 当量，合理地用于其他固体物质。针对厂址附近交通路线上的移动源，应仔细评价所提供防护措施的充分性。应依据核安全导则 HAD101/04 假设足够数量的可能出现爆炸的地点，确保已分析了可能的最坏情况。

5.6.10 防护措施

5.6.10.1 对于构筑物以外的屏蔽结构，应考虑将其作为抵御爆炸冲击波荷载和热荷载的防护手段。这种结构对于防护由容器破裂或爆炸产生的爆炸最为有用，在这种情况下，这些结构应被设计为用于防护飞射物和爆炸冲击波超压，且屏障结构应靠近被保护的构筑物，以避免冲击波绕射产生的压力。

5.6.10.2 设计中应考虑保护措施，包括增加结构支撑构件以增加抵抗力并减小无支撑跨度，使用坚固的支撑墙以增加抵抗力，通过将墙体与屋面、楼板和相交墙体进行连接，以提高整体结构完整性，并采用抗爆构件替代或加固门窗。安全重要的进气口设

计中应采取保护措施。此外，应论证入射波不会导致安全功能的丧失。

5.7 有毒、可燃、腐蚀性和窒息性化学品释放

5.7.1 概述

有毒、可燃、腐蚀性和窒息性化学品可能释放到空气中，对核动力厂的内部和外部均造成影响，损坏或影响安全级系统及操纵员行动。腐蚀性气体或液体的释放可能进入并损坏核动力厂冷却系统。此外，溢油或腐蚀管道产生的液体可能对换热器、泵和阀的功能产生不利影响，可能影响安全级物项。腐蚀性液体也可能影响外部区域，如开关站，还应考虑构筑物外部电气和电子设备。

5.7.2 与危险评估的接口

核安全导则 HAD101/04 阐述了核动力厂或附近释放危险液体的危险评估。释放危险可能来自固定或移动源。危险品释放评估的成果应为潜在释放源的列表，包括其特征（释放形式、释放位置、有害物质的数量和性质）。当基于安全距离或概率考虑无法筛选掉该危险时，危险评估的结果应用来表征包含在设计基准中的危险品释放的特征。

5.7.3 弥散

5.7.3.1 在表征用于设计的释放特性之后，应通过扩散模型计算释放气体的大气迁移，该模型允许释放参数和浓度在时间和空间上的变化。

5.7.3.2 在大多数情况下，将高斯烟羽模型用于连续释放，或将具有高斯浓度分布的“烟团”弥散模型用于准瞬时和短期释放。模型至少应考虑释放的纵向、横向和垂直弥散。复杂的计算流体动力学模型可适用于涉及丘陵地形的场景。

5.7.3.3 计算弥散应考虑许多与厂址气象条件时间分布有关的情况：如风速、风向、大气稳定度、降水、太阳辐射和云量。目的是获得表征核动力厂内排放点与相关位置之间稀释¹⁸效果的弥散因子的统计数据，相关位置通常是指构筑物的进气口。

5.7.3.4 有毒和窒息性气体可能比空气更重或更轻。在蒸发和缓慢泄漏情况下，当实验数据或数值模拟充分支持时，应考虑密度对垂直扩散的影响。然而，当湍流效应相对于浮力效应占主导地位时（如爆炸导致的释放，或释放的物质进入构筑物附近的湍流空气时），不应考虑比空气重的气体的密度效应。应特别关注由冷的气体-空气混合物（如液氨和空气）形成的重气云，这些重气云可以远距离漂移而不会被大气湍流驱散。

5.7.4 设计和鉴定方法

5.7.4.1 一旦假定存在有毒、可燃、腐蚀性或窒息性的气体或气体云，应进行弥散计算，以评价气云在厂址飘移或流动时的气体浓度。

5.7.4.2 在设计中，应考虑正常和特殊条件下的气流，以及共用一个通风系统的所有房间的体积和通风系统本身的体积。

¹⁸ 稀释通常是用相对于释放源的相关术语来表示。例如，它可以表示为在某一点的平均气体或蒸汽浓度，除以来源处的释放速率或来源处的浓度。

5.7.4.3 为了简化计算，可假定在与受影响进气口产生相互作用的时间内，气云保持均匀。另外，可假设所有共享同一通风系统的房间内的气体浓度相等。这些假设对气体浓度的评估是保守的，但对于评估再循环时间或对于确定必要的供气汽缸的容量并不保守，为此目的应进行更细化的分析。

5.7.4.4 在某些设计中，某些房间的环境空气在意外释放后与潜在污染的空气隔离。在这些情况下，隔离环境的泄漏率对于估计达到危险浓度水平之前的时间至关重要。计算中考虑的这些泄漏率应通过在已建系统中进行测试来确认，该系统在与设计基准中假设的相同条件下运行。

5.7.4.5 如果在评估中通过过滤、吸附或其他类似措施清除化学品，则分析人员应在设计文件中列入清除能力的技术依据。

5.7.4.6 一旦确定了构筑物内化学物质的浓度，应将其与毒性限值进行比较，以评估对人员的影响，或与设备特性进行比较以评估对设备性能的影响。

5.7.5 防护措施

5.7.5.1 对已知的有毒、可燃、腐蚀性或窒息气体来源，应提供能够在控制室进气口探测这些气体的气体探测器。当气体浓度超过规定的水平时，应在适当考虑氯气等快速反应材料的情况下启动保护行动。这些行动应包括进气的过滤、利用再循环空气系统和使用独立的呼吸装置，以及防止关键时间段的空气进入。

5.7.5.2 控制室及其应急通风系统应采用低泄漏设计。

5.7.5.3 某些类型的有毒、可燃、腐蚀性或窒息性气体或蒸气，例如可能沿运输路线（即公路、铁路、海洋、河流）释放的气体或蒸气，无法事先识别。提供能够探测所有类型危险气体或蒸气的系统是不切实际的，然而，如果多种类型的气体或蒸气可能构成危险，应考虑提供尽可能通用的探测器（例如能够探测到卤素或碳氢化合物等各种气体），并且还能够探测到氧气水平的下降。

5.7.5.4 对于核动力厂，辅助控制室远离主控制室并具有单独的空气供应，应能够停闭和监测反应堆。应保护从主控制室到辅助控制室的路线，以允许操纵员的移动，或者应为人员进入配备呼吸装置的控制点做出替代安排。如果安全分析中考虑了辅助控制室，则辅助控制室进风口应与主控制室进风口相隔一定距离；应考虑将其布置在较高的位置，尤其是在必须考虑重气体云的情况下。然而，分离的有效性可能取决于及时检测有毒或窒息性气体存在的能力。因此，应为每个特定地点设计特定的防护手段。

5.7.5.5 对于腐蚀性化学品，应论证即使在最大可能的腐蚀速率下，检查间隔也不会对安全系统造成损害，以使在修复受影响的系统之前，安全功能不会丧失。可通过多种方式实现系统的保护：**a)** 防止腐蚀剂和腐蚀表面之间的持续接触；**b)** 提供启动关闭阀的腐蚀性气体探测器；**c)** 提供保护涂层；**d)** 提供额外的墙厚以允许一定量的腐蚀；**e)** 缩短检查间隔；**f)** 以上方法的组合。具体的保护措施，根据具体情况来确定。在特定情况下，它

甚至可能足以使空气温度或湿度保持在规定范围内，从而减缓腐蚀速度。应证明这种方法的充分性。

5.8 来自其他核设施的放射性危险

5.8.1 概述

放射性气体和液体可能从邻近的运行核动力厂或贮存设施、载有新燃料或乏燃料的车辆以及其他厂址和厂址外来源释放，构成潜在的外部危险。放射性物质的释放可能影响核动力厂，损坏安全级系统或妨碍操纵员的行动。

5.8.2 危险性评价接口

5.8.2.1 核安全导则 HAD101/04 提供了有关放射性液体释放的信息，和应对的分析程序。本导则应与其他适用的参考文件共同使用，以识别在设计核动力厂时要考虑的外部放射性释放。

5.8.3 设计和鉴定方法

5.8.3.1 核动力厂设计应考虑所有潜在的外部放射性危险，应旨在使核动力厂人员的外部 and 内部照射符合国家规定的辐射防护要求。此外，核动力厂设计应使到达核动力厂的放射性物质进一步扩散最小化。

5.8.3.2 如果是放射性气体云，核动力厂内的气体浓度应根据空气交换率计算，并考虑假定的气象条件，从而给出与时间相关的浓度和剂量。应根据核动力厂特定基准确定气体或蒸气云的范围和作用时间。应特别注意避免将放射性气体释放到控制室和其他有人员出入位置的进气口。

5.8.3.3 对于放射性液体与水混合可能进入冷却水进水口的情况，与时间相关的浓度和剂量应以在进入进水口之前、在冷却水中的浓度计算。应特别注意从核动力厂中散热的系统，因为它们可能有助于扩散释放的放射性物质。

5.8.4 防护措施

5.8.4.1 对于设计中要考虑的放射性外部危险，设计人员应考虑两种防护措施：屏蔽以防辐射照射和过滤以防止放射性物质污染。

5.8.4.2 在 5.7.5.1-5.7.5.5 条款中讨论了防止人员窒息和有毒气体的防护方法。在考虑控制室可居留性问题和和其他相关问题时，对放射性气体也应酌情遵循本原则。

5.9 飞机坠毁

5.9.1 概述

5.9.1.1 核安全导则 HAD101/04 给出了估算厂址和核动力厂本身对于飞机坠毁潜在风险的建议和分析。该分析的结果（基于筛选程序来识别潜在飞机坠毁的风险）应从飞机特定参数（类型、质量、速度和刚度）或荷载时间函数（与撞击区域相关）的角度出发。

5.9.1.2 在设计防止飞机坠毁的核动力厂时，可使用替代路径以确保安全功能。在确定最终外部事件分类之前，可能需要在构筑物、系统和部件设计中进行迭代。所有归类为抗震 I 类的构筑物、系统和部件应针对飞机坠毁事件进行设计或评估。

5.9.1.3 应分析假想飞机坠毁，以确定其效应并将其后果限制在可接受水准之内。在对于飞机坠毁的评价中，通常考虑如下：

a) 由于飞射物撞击或飞机坚硬部件（例如发动机、起落架等）撞击而造成的局部结构损坏，包括侵彻、剥裂、碎甲和贯穿（“局部效应”）；

b) 整体结构损坏，包括结构出现过度变形或位移阻碍结构执行其预期安全功能（“整体效应”）；

c) 由于结构构件和安全级设备的诱发振动导致构筑物、系统和部件的功能失效（“振动效应”）；

d) 坠机引发的火灾或爆炸对构筑物、系统和部件的影响；

e) 燃料或灭火剂水体流入构筑物（例如通过通风系统）对临界安全的影响。

5.9.2 荷载作用

5.9.2.1 应明确一次飞射物（飞机）及其二次飞射物（发动机）撞击结构的如下特性：

a) 飞射物的类型、速度和撞击角度；

b) 飞射物的质量和刚度；

c) 影响区域的大小和位置；

d) 结构体系的承载力和整体延性（或局部应变极限）；

e) 撞击二次效应（如飞射物和碎片）。

5.9.2.2 受影响区域的位置和影响角度取决于周围地貌和邻近构筑物以及飞机类型。

5.9.2.3 撞击的局部区域和结构整体的结构建模可能有所不同。局部区域是直接冲击区及其周围区域，结构的反应是非线性的，应采用非线性材料本构，而在结构整体分析方面，可认为材料特性是线性的。应验证结构建模中所用方法的适用性。

5.9.2.4 评估中对钢结构、钢筋和混凝土的材料特性应考虑材料的实际延性（通过试验确定），还应包括应变率效应。

5.9.3 荷载-时间函数

5.9.3.1 对于刚性或大型结构的冲击分析，应通过解析方法从垂直于刚性目标的可变形飞射物冲击中导出等效荷载-时间函数。为尽可能滤除数值积分中不可避免的杂散噪声，应采用平滑处理。注意荷载-时间函数中不能滤除高频效应。

5.9.3.2 荷载-时间函数可用于考虑设计基准外部事件。工程设计规则应符合相关的国家或国际规范和标准，并具有成熟的工程实践。荷载-时间函数可用于超设计基准外部事件的考虑。此情况下，最佳估计法可用于裕量评估。

5.9.4 飞射物与靶体的相互作用

5.9.4.1 对柔性结构的撞击，飞射物与靶体之间的动力相互作用会对荷载产生很大影响，需要通过耦合分析（飞射物与结构的相互作用）来处理。在该分析中，应模拟飞机类型、质量、刚度、速度和撞击角度（作为可变形飞射物）。飞机类型、质量和速度可由监管部门规定。

5.9.4.2 刚性部件（如发动机和起落架），产生的冲击荷载由上一条中所述的飞射物初始速度确定。

5.9.4.3 应定义混凝土在受拉、受压时的非线性材料特性，以及应变率和失效准则。应尽可能使用现有实验验证材料参数。

5.9.4.4 目标局部区域的模型应能够评估混凝土破坏模式（即从剥裂到贯穿）以及钢筋塑性和损伤的影响。

5.9.4.5 在局部区域外（即结构整体），结构建模时可以在单元类型、单元尺寸、材料本构方面进行简化处理。

5.9.4.6 另一种方法适用于评估二次飞射物和碎片的影响，该方法是基于刚性飞射物推导的经验和半经验分析公式。由于其形状、质量、刚度和速度范围通常与飞机撞击核动力厂的典型问题不同，因此有必要对这种方法的适用性进行工程判断。

5.9.5 振动效应

5.9.5.1 应计算容纳安全级设备的结构内重要的内部结构单元的反应谱。

5.9.5.2 在计算构筑物反应时，应采用适当的阻尼模型，并注意避免在高频范围内出现不合理的数值。分析时间应足够长，以确保包括冲击后结构的主要振动。

5.9.5.3 数值分析中高频伪噪声是时程分析的一部分，因此，在模拟后，应在设计部件诱发振动之前，尽可能过滤掉这些噪声。

5.9.5.4 由于非能动结构可以在正常情况下维持高频而不会出现故障（损坏），因此在某些状态下使用高频截止的方法生成

结构反应谱，这种方法通常用于特定结构布置，并应考虑此类高频下的结构高阻尼和结构不连续性。只有在计算位移低于定义的可接受限值，且运动在结构内一定距离传播时才允许这样使用。

5.9.6 燃料效应

结构外墙的设计应能抵抗飞机坠毁。无论是飞机整体还是其部件都不应该穿透外墙。应根据工程经验估计坠毁飞机所载燃料释放的后果。工程判断应考虑以下几个方面：

a) 火灾荷载应参考飞机在目标位置携带的燃料量（从起始机场到目的地的航线上飞机燃料补给、起飞和巡航燃料消耗）和飞机内部易燃物（行李、有效荷载、塑料板、座椅）和现场外的其他易燃材料的参与；

b) 外部火球；

c) 池火；

d) 燃料经由正常开口进入构筑物，或经由通风管道以蒸气或气溶胶的形式进入构筑物引发火灾；

e) 燃料或燃烧产物进入配电系统，影响人员安全或导致设备故障，如电气故障或应急柴油发电机故障等。

5.9.7 其他方面

5.9.7.1 土体应采用阻尼弹簧-质量系统来等效表示。对于正常地基和厂址条件，考虑厂址的均匀土动力条件是足够的，因为土体条件的变化在此类分析中的影响可以忽略。

5.9.7.2 数值模型应考虑结构构件的质量以及设备恒荷载。

贮存在罐或池中的流体可以用刚性连接的质量表示。对于活荷载，应根据实际情况考虑，而不是采用假定的设计活荷载。

5.9.7.3 由于破碎冲击区及其周围区域的能量耗散，因此结构整体的阻尼选取应低于其他动态荷载情况。

5.9.7.4 安全壳应能承受冲击（无穿透），并且相关系统和部件应在设计基准飞机撞击后保持可用，设计基准飞机应有长距离飞行能力且具备一定的燃料负荷。

5.9.7.5 应进行敏感性研究，以确定与飞机在核动力厂意外坠毁相关的后果范围和最敏感的参数。此外，应对进行此类特定分析使用的相关软件或程序进行验证和确认。

5.9.8 防护措施

5.9.8.1 当进行构筑物、系统和部件飞机坠毁防护的设计时，应考虑撞击的局部、整体和振动物理效应。应通过提供冗余且充分分离的部件或采取隔振措施来减缓振动效应。

5.9.8.2 接受直接冲击的混凝土结构应在双侧加固，并设置足够的箍筋或拉筋。

5.9.8.3 钢筋应根据计算得出内力的最小值和最大值（如受压和受拉）进行设计，并与其他规定的荷载进行荷载组合。

5.9.8.4 如果局部结构失效（包括剥裂）可能对安全重要的设备造成损坏从而损害其安全功能，则应采取以下措施（也需组合使用）：

a) 屏蔽结构的结构抗力或其分布，应通过增加厚度和配筋（或增加地下覆土的厚度）、增加飞射物屏蔽、障碍物或其他适当措施来提高；

b) 冗余设备应位于具有足够间隔距离（物理间隔）的不同区域；

c) 潜在受影响的项目应符合短时瞬态荷载的要求。设备鉴定应涵盖安全分析中确定的所有关键故障模式（稳定性、完整性和功能性）。

5.9.8.5 进行结构分析时，无需将所有设计荷载与飞机坠毁荷载进行组合。只有那些预计会持续很长时间的荷载（即恒荷载、实际活荷载和设备的正常运行荷载）与飞机撞击荷载相组合即可。

5.9.9 超设计基准飞机撞击评估

相关内容见国家核安全局管理办法。

5.10 电磁干扰

5.10.1 核动力厂的安全重要物项对危险的防护应通过设计来实现，当不可行时可使用行政措施，如设立禁区。

5.10.2 应明确区分厂址外的电磁干扰和核动力厂边界内的电磁干扰。根据源的位置，设计方法和管理控制可能不同。

5.10.3 核动力厂仪表与控制数字化设备更易受电磁和射频干扰的影响。另外，电磁干扰的潜在源在快速增加，对核动力厂的电磁和射频干扰防护的复核检查应比其他危险类别更多。

5.10.4 如果已确定电磁脉冲的潜在源是厂外危险，则应确定这些脉冲的传播路径（例如通过辐射或传导），并应提供相应的防护。如果电磁脉冲源是恶意的，设计方应与核安全专家密切合作。目标应是采用统一的综合设计来保护核动力厂免受任何来源的电磁脉冲的影响。

5.10.5 在设计电磁和射频干扰屏障时，应适当考虑材料特性、表面处理、防腐性、电磁兼容性和环境适宜性。

5.10.6 电磁干扰源可能是固定的，也可能是移动的。应该进行测试，验证设计措施的充分性，以保护构筑物、系统和部件免受干扰。暴露于电磁干扰环境下的构筑物、系统和部件应通过测试或鉴定。

5.10.7 如果电磁和射频干扰的设计防护不切实可行，则应采取行政管理措施（例如设立禁区），并制订程序以执行这些措施。

5.11 生物现象

5.11.1 概述

生物现象如藻类、鱼、虾、水母等生物的过度生长，影响最终热阱及冷却系统，严重时可能影响核动力厂安全功能。典型的生物现象有：

a) 海生物，如海藻、鱼虾、水母等堵塞滤网，导致冷却水供应不足；

b) 由于空气中的树叶、昆虫等集聚，引起进气口滤网或空气冷却器性能下降；

c) 海生物在冷却系统内生长可能影响冷却系统的性能。

5.11.2 源项调查

应进行厂址周边区域的源项调查，确定需要防护的生物现象，并在运行过程中持续进行观测。

5.11.3 设计方法及防护措施

5.11.3.1 应采用纵深防御的理念，构建“主动防御、纵深设置、永临结合、运行策略”的防御体系。

5.11.3.2 可采用声学、光学等技术手段对适当考虑的生物现象进行监测和预警，搜集物种类别、分布特征、爆发时间、环境参数等数据，提升风险监测预警能力。

5.11.3.3 可采用生物消杀或驱离的措施，如使用改性黏土消杀藻类，阻止或减少海生物进入冷却系统。

5.11.3.4 设置和合理布置不同种类的拦截设施，包括滤网、格栅、鼓网等，形成多道拦截设施，缓解取水堵塞物对冷却系统的影响。

5.11.3.5 针对生物现象制定专门的运行及维护程序，做好日常维护、清理、打捞和预防性维修等工作。

5.11.3.6 尽管使用了 5.11.3.1 所描述的措施，仍有可能出现取水口全部堵塞的情况，应考虑这种事故工况。可采用替代的最终热阱或多样化的取水方式。

5.11.3.7 生物现象的防护措施不应在其他设计基准外部事件下影响最终热阱安全。

5.12 漂浮物与有害液体

5.12.1 概述

5.12.1.1 最终热阱与冷却系统进水口构筑物是安全级物项，某些系统部件可能在厂址边界以外，且延伸到更大的区域范围，需要考虑这些部件受漂浮物与有害液体的影响。

5.12.1.2 船舶、冰、原木等漂浮物可能与取水口或最终热阱构筑物相碰撞。船舶的碰撞荷载和碎冰的冲击荷载应与其他荷载相组合，具体取决于始发场景与这些事件之间的关联性。除了碰撞荷载外，还应考虑相关现象，例如石油溢出或腐蚀性液体释放，这些现象可能影响冷却水的可用性 or 水质。船舶碰撞、管道或海上设施的泄漏可能会释放出有害的液体或颗粒。

5.12.2 与危险评估的接口

核安全导则 HAD101/04 提供了有关船舶碰撞危险评估的指导，并定义了设计基准应考虑的重要参数。如果不能通过实施预防措施或保护措施来排除直接影响，则应根据水路交通的情况确定船舶碰撞的设计基准。船舶碰撞设计基准参数通常指船舶的质量、刚度、撞击面积和速度。

5.12.3 荷载施加

5.12.3.1 设计应考虑船头正面碰撞，并考虑假定侧向碰撞的力被船头碰撞力所包络。整体碰撞荷载应施加在船舶行驶方向上，冲击力施加在水位处。

5.12.3.2 对安全重要厂用水系统需要从通航水道取水的厂址，应考虑船舶撞击事故对最终热阱安全功能的影响。首先关注直接与最终热阱相关的冷却系统进水口的潜在堵塞，这可能与船舶或驳船的沉没和搁浅相关，导致港池、渠道或管道的阻断。

5.12.4 设计和鉴定方法

5.12.4.1 进水口应对船舶碰撞、漏油或腐蚀性液体和颗粒释放的设计，应能在各种环境条件下保证其功能。

5.12.4.2 对于碎片和冰块，由事件分析得到的冲击荷载施加于结构上时，应确保结构的完整性。

5.12.4.3 对于滨海厂址，应依据传统停泊区与船舶保护结构相关的规范和标准进行适当的防护措施设计。

5.12.5 预防性措施

5.12.5.1 应与海事部门密切合作，建立防止船舶碰撞的措施。通过安装导航设备，引入导航法规或实施船舶交通管理系统，为导航提供援助，从而预防船舶碰撞。通过实施以上行政管理措施，大型船舶在正常巡航中发生碰撞的概率将大大降低。

5.12.5.2 适当考虑多样性、冗余和隔离距离来防止进水口丧失安全功能。

5.12.6 防护措施

5.12.6.1 可能遭受冲击的结构应设计成能承受冲击荷载，或者采用防护结构（如护舷、桩等）。

5.12.6.2 结构或保护系统的阻力高于运输容器的破碎力时，运输容器将被压碎并且冲击荷载主要通过运输容器的变形消散，这可能导致燃油或其他化学品溢出。因此，任何保护系统的设计不仅应考虑结构的防护，还应尽可能保护运输容器，以避免溢出或堵塞进水口。

5.12.6.3 几种类型的防护措施通常用于取水口或水道中结构的防护。其中许多可用于保护进水口和最终热阱（例如护舷系统、桩支撑系统、海豚保护或浮动保护系统）。还应开发类似系统，以防止碎片直接撞击或结冰。

5.12.6.4 如果要考虑船舶与进水口结构的潜在直接碰撞，应采取措施保持冷却水供应和最终热阱安全功能。还应考虑碰撞（例如在碰撞过程中引起的震动）对与最终热阱直接相关的冷却系统的部件的影响。

5.12.7 缓解措施

5.12.7.1 在容易与冷却水混合并且可能导致冷却系统损坏或可能严重降低传热能力的液体溢出的情况下，应采取适当的缓解措施。对于原油溢出，可通过将泵吸入部件设置在水下适当深度来提供防护。但是，在水深较浅的情况下，应采用特殊措施，如设置木栏或撇油器，使油与泵进水部分保持安全距离。如果考虑油或其他流体有可能着火时，也需要这类措施。

5.12.7.2 如果进水口堵塞可能导致无法确保所需的最小冷却系统流量，则可以使用多种方式设计最终热阱或提供多种方法来实现最终热阱的设计目标。

5.12.7.3 在发生严重冰灾的情况下，应考虑碎片和冰对取水口的静态和动态作用。或者，应采用不同方法向设备提供冷却水，例如采用不同的水源或闭环冷却系统。

5.13 其他外部事件

在核动力厂设计中应考虑与地震荷载无关的岩土灾害。一般而言，沉降或空洞坍塌等危害涉及地基处理和基础设计，因此应考虑岩土工程灾害的评估。进一步的指导见核安全导则HAD101/12《核电厂的地基安全问题》。

对于那些本导则尚未提及的设计基准和超设计基准外部事件，可使用其事件效应及其事件组合开展评估。

5.14 事件组合

外部事件之间的组合应考虑如下几种情况。

a) 继发事件（即事件导致的事件），例如地震或海底滑坡引发的海啸。在这种情况下，应考虑两个外部事件对核动力厂物项的影响，同时适当考虑外部事件对厂址影响的时差。

b) 伴随出现的事件（外部事件包含多个能够同时发生的潜在危险），例如，大型飞机坠毁导致的撞击、振动、火灾和爆炸效应同时发生，极端风、闪电及极端降雨伴随发生。

c) 独立事件组合（独立的外部事件之间同时发生），例如地震和风/温度之间的组合。在组合时可适当降低各独立事件的设计基准。

d) 外部事件导致事故工况（外部事件导致核动力厂从正常运行到事故工况的变化）。应评估这种可能性并在设计中加以考虑。