

ICS 27.120.20
F 65
备案号: 57428—2017

NB

中 华 人 民 共 和 国 能 源 行 业 标 准

NB/T 20425—2017

核电厂内部水淹概率安全评价开发方法

**Methodology for performance of internal flooding probabilistic safety
assessment for nuclear power plants**

2017 - 02 - 10 发布

2017 - 07 - 01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语、定义和缩略语	1
3.1 术语定义	1
3.2 缩略语	2
4 内部水淹概率安全评价开发方法	3
4.1 方法概述	3
4.2 任务 1: 识别水淹区域	5
4.3 任务 2: 识别水淹源、水淹机理和重要 SSC	6
4.4 任务 3: 现场巡访	8
4.5 任务 4: 水淹区域定性筛选	9
4.6 任务 5: 水淹情景分析	10
4.7 任务 6: 水淹事件频率计算	11
4.8 任务 7: 水淹后果分析	13
4.9 任务 8: 水淹人员可靠性分析	16
4.10 任务 9: 建立水淹情景的 PSA 模型	18
4.11 任务 10: 水淹情景的定量化	18
4.12 任务 11: IFPSA 文件编制	19
附录 A (资料附录) 内部水淹巡访检查清单示例	20
参考文献	23

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准由核工业标准化研究所归口。

本标准起草单位：上海核工程研究设计院、苏州热工研究院有限公司、中国核电工程有限公司。

本标准主要起草人：仇永萍、杨英豪、杨志超、詹文辉、叶旭华、孙金龙、徐晓燕、马原、黄立华。

核电厂内部水淹概率安全评价开发方法

1 范围

本标准规定了核电厂内部水淹一级概率安全评价（PSA）的开发方法，提供了内部水淹一级PSA的分析过程、分析要点等。

本标准适用于压水堆核电厂功率运行工况内部水淹一级PSA，在考虑停堆工况特性并进行适当修正后，也适用于停堆工况内部水淹一级PSA。其他堆型的核电厂可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

NB/T 20037.1 应用于核电厂的一级概率安全评价 第1部分：总体要求

NB/T 20037.3—2012 应用于核电厂的概率安全评价 第3部分：水淹

3 术语、定义和缩略语

NB/T 20037.1与NB/T 20037.3—2012界定的以及下列术语、定义和缩略语适用于本文件。

3.1 术语定义

下列术语及定义适用于本文件。

3.1.1

水淹区域 flood area

与其他区域之间有足以防止水淹危险的水淹屏障相隔离的建筑物或电厂的一部分，在同一水淹区域内，水淹对电厂有相似的影响。

3.1.2

水淹效应 flood effect

因水淹而对构筑物、系统和部件（SSC）产生的不利影响。

3.1.3

水淹情景 flood scenario

描述水淹事件的一组要素。

注：这些要素通常包括水淹时刻的电厂运行状态、水淹区域、水淹源和失效模式，水淹事件类型（比如喷淋、局部水淹、重大水淹等），还包括水淹蔓延、水淹损坏的SSC和始发事件在内的水淹影响，以及操纵员动作和缓解系统的响应等。

3.1.4

高能管道系统 high-energy piping system

在电厂正常运行工况下最高运行压力超过2 MPa（表压）或最高运行温度超过100 °C的任何系统或系统的组成部分。如果管道系统在这些限值以上运行的时间相对于其执行预定功能的时间而言仅为很短的一部分（小于2 %），则可将其划分为中能管道系统。在某些电厂设计中的余热排出系统可能就是这种系统的一个例子。

3.1.5

内部水淹 internal flood

由核电厂内水淹源，如管道、水箱、热交换器等引起的水淹事件。

3.1.6

中能管道系统 moderate-energy piping system

在电厂正常运行工况下最高运行压力小于等于2 MPa（表压）且最高运行温度小于等于100 °C的任何系统或系统的组成部分。所有承压高于大气压力而没有划分为高能管道系统的管道系统均应划分为中能管道系统。

3.1.7

喷溅 spray

液体直接喷射或飞溅到设备上，尤其是电气设备上，可能影响设备的绝缘或因液体渗入设备后导致内部电路短路，从而导致设备失效的一种水淹效应。

3.1.8

淹浸 submergence

设备所在区域的水位超过设备底部，导致设备被水淹没/浸泡的一种水淹效应。

注：在水淹PSA中一般假定设备淹浸将导致设备（一般指电气设备）失效。当电气设备底部（例如底座之上被淹浸时，通常认为电气设备失效，除非有详细的评估证明，设备部分淹浸时仍然可用。但这一假设一般不适用于非能动设备，比如热交换器、止回阀、手动阀，也不适用于其他在事故工况下不需要改变其状态位置或不需要外部动力改变其状态位置或操作的设备。

3.1.9

现场巡访 walkdown

对核电厂系统和部件所在现场区域的检查及对电厂人员的访谈，以确保规程、图纸、设备位置和运行状态的正确性，并确定在事故工况下环境对设备的影响或系统对设备的影响。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CDF：堆芯损坏频率

FDS：水淹损伤状态

HELB：高能管道破裂

HEP：人员失误概率

HFE：人员失误事件

HRA：人员可靠性分析

IFPSA：内部水淹概率安全评价/分析

PSA: 概率安全评价/分析
SSC: 构筑物、系统和部件

4 内部水淹概率安全评价开发方法

4.1 方法概述

4.1.1 总则

本节对IFPSA的分析方法进行介绍,说明了IFPSA的过程、详细的分析步骤和步骤间的关系。

IFPSA包括11项任务,分为定性评价、定量评价和报告编制三个阶段。定性评价阶段包括识别水淹区域,识别水淹源、水淹机理和重要SSC,现场巡访和水淹区域定性筛选4部分内容,如图1所示。定量评价阶段包括水淹情景分析、水淹事件频率计算、水淹后果分析、水淹人员可靠性分析、建立水淹情景的PSA模型、水淹情景定量化等6部分内容,其任务关系如图2所示。

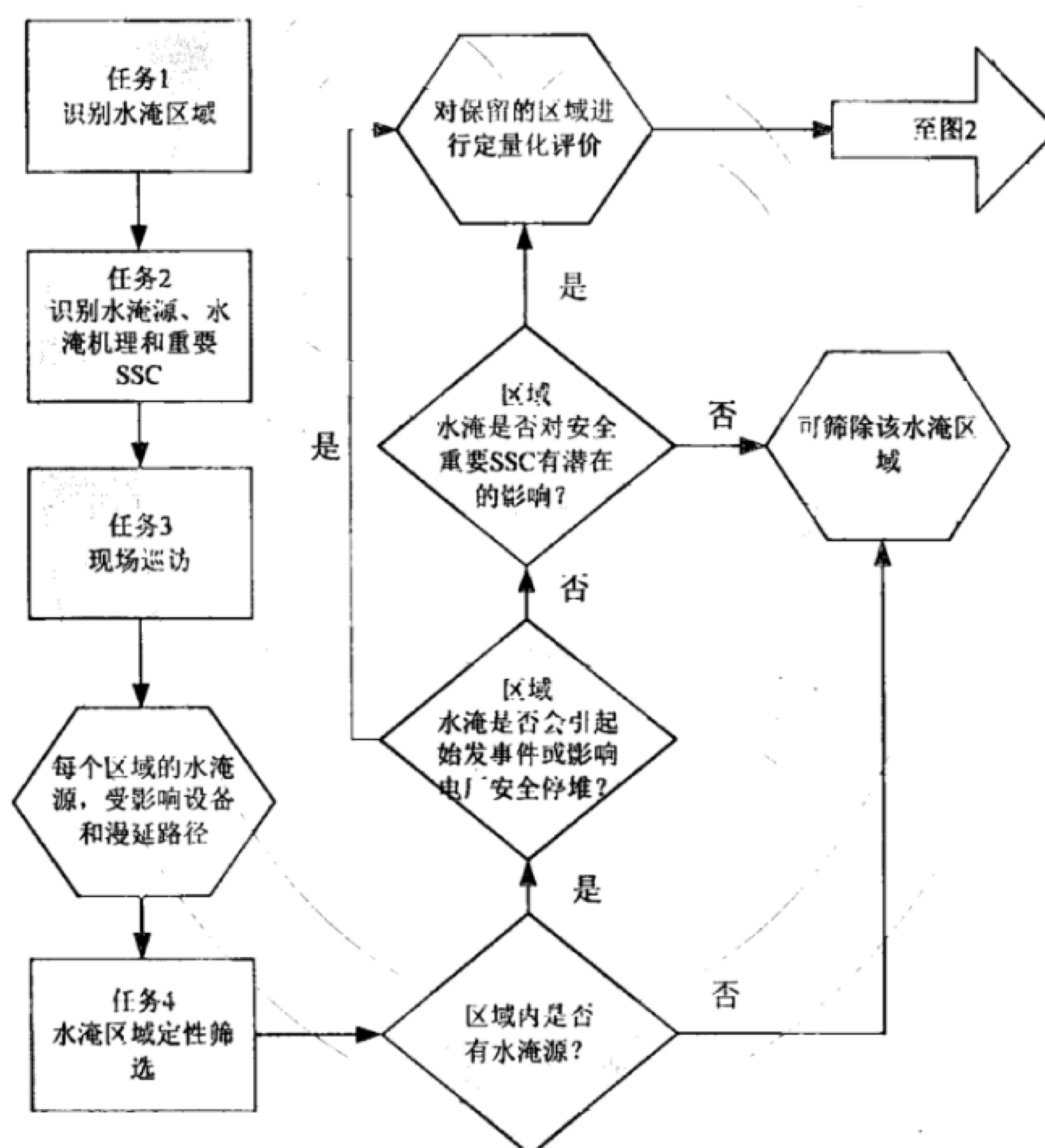


图1 定性评价阶段的主要步骤和任务

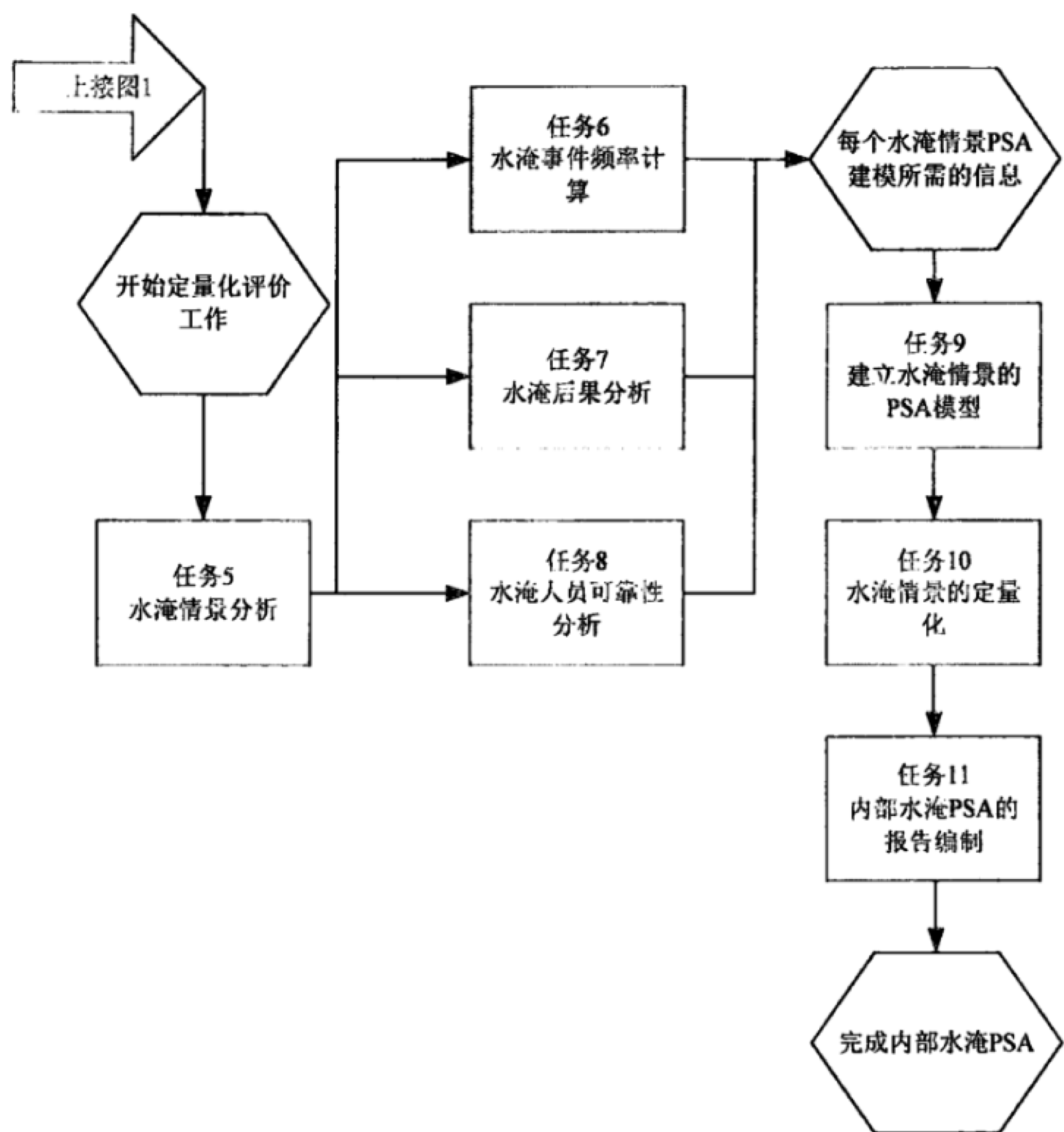


图2 定量评价阶段和文件编制阶段的主要步骤和任务

图1、图2给出了IFPSA的主要任务和每个阶段的一些重要输出和需完成的工作。需要注意的是IFPSA是一个不断重复迭代的过程，每项任务不一定严格按照图中的顺序进行。

4.1.2 定性评价阶段

在任务1、2中，利用现有的电厂资料来识别水淹区域，以及各水淹区域内的水淹源和重要SSC。在进行水淹区域定性筛选之前，需要通过现场巡访确认空间信息。

需要注意的是，虽然在图1中列出了现场巡访作为定性评价的一部分，但该任务也用于支持定量评价阶段中某些特定的方面（如确定导致设备失效的最低水淹高度）。现场巡访的主要目的是核实在划分水淹区域、识别水淹源、形成描述水淹情景的关键输入信息中所做的相关假设。对于尚处于设计或在建阶段的核电厂，可通过参考类似电厂、核实设计信息等途径达到确认相关信息和假设的目的。

基于前三项任务收集的信息，根据制定的筛选准则筛选无水淹风险或水淹风险很小的水淹区域。该准则考虑水淹发生和蔓延的可能性、引起始发事件或需要电厂紧急停堆的可能性、导致应对始发事件或紧急停堆以防止堆芯损坏所需SSC的失效。

4.1.3 定量评价阶段

如图2所示,在定量评价阶段,首先要对定性筛选后保留的水淹区域进行水淹情景分析。按照不同水淹源、水淹事件类型(喷淋、局部水淹或重大水淹)、不同水淹蔓延和缓解的可能性,每个区域可定义多个水淹情景。任务6针对每一个确定的水淹情景计算水淹事件的发生频率,用于IFPSA模型量化。

在任务7中,开展水淹事件发生后电厂响应及水淹事件后果分析。该任务包括评价水淹情景中受水淹影响SSC的各种失效模式和机理,以此评估水淹事件对电厂产生的影响。即使水淹没有直接导致始发事件,但需要立即停堆或后撤(例如,根据技术规格书要求的手动停堆),该情景仍然需要考虑,因为水淹可能导致的SSC失效会增大堆芯损坏的可能性。

在任务8中完成水淹情景相关的人员动作模化和人员失误概率量化,包括导致水淹的人员动作、终止水淹或者缓解水淹后果的人员动作、为响应始发事件或电厂停堆的人员动作等。在该任务中,应分析在应对水淹事件的同时执行应急运行规程过程中各种人员动作之间的相关性。

为计算核电厂内部水淹事件对CDF的贡献,需要水淹情景、相应水淹事件的频率和电厂内部事件PSA模型之间的接口,该接口的建立在任务9中完成。在任务10中,对内部水淹相关的事件序列进行量化。

4.1.4 文件编制阶段

任务11是对IFPSA进行文件编制。建议在IFPSA的各项任务过程中同时进行文件编制,这样在完成任务10后只需对评价结果进行文件编制。

以下将对11项任务的分析方法进行详细介绍。

4.2 任务1: 识别水淹区域

本任务的起始点是确定IFPSA的分析范围,然后根据区域间是否存在直接连通和蔓延的可能性来确定相对独立的基本分析单元,即识别水淹区域。

根据IFPSA范围和电厂建筑设计及设备布置等信息来确定水淹区域。对于压水堆核电厂来说,IFPSA的范围一般包括辅助厂房、汽轮机厂房等厂房内的水淹区域和潜在的水淹源。根据电厂的特定布置情况来确定是否需要考虑来自其他厂房或构筑物的水淹蔓延。

水淹缓解设施,如防水坎、防喷淋罩和地漏等会影响水淹区域的识别,在识别蔓延路径或者评价SSC是否受水淹影响时,需要考虑这些缓解设施。建议利用现场巡访收集的信息绘出“水淹蔓延路径图”,用于支持水淹情景分析。图3给出了一个蔓延路径图示例。

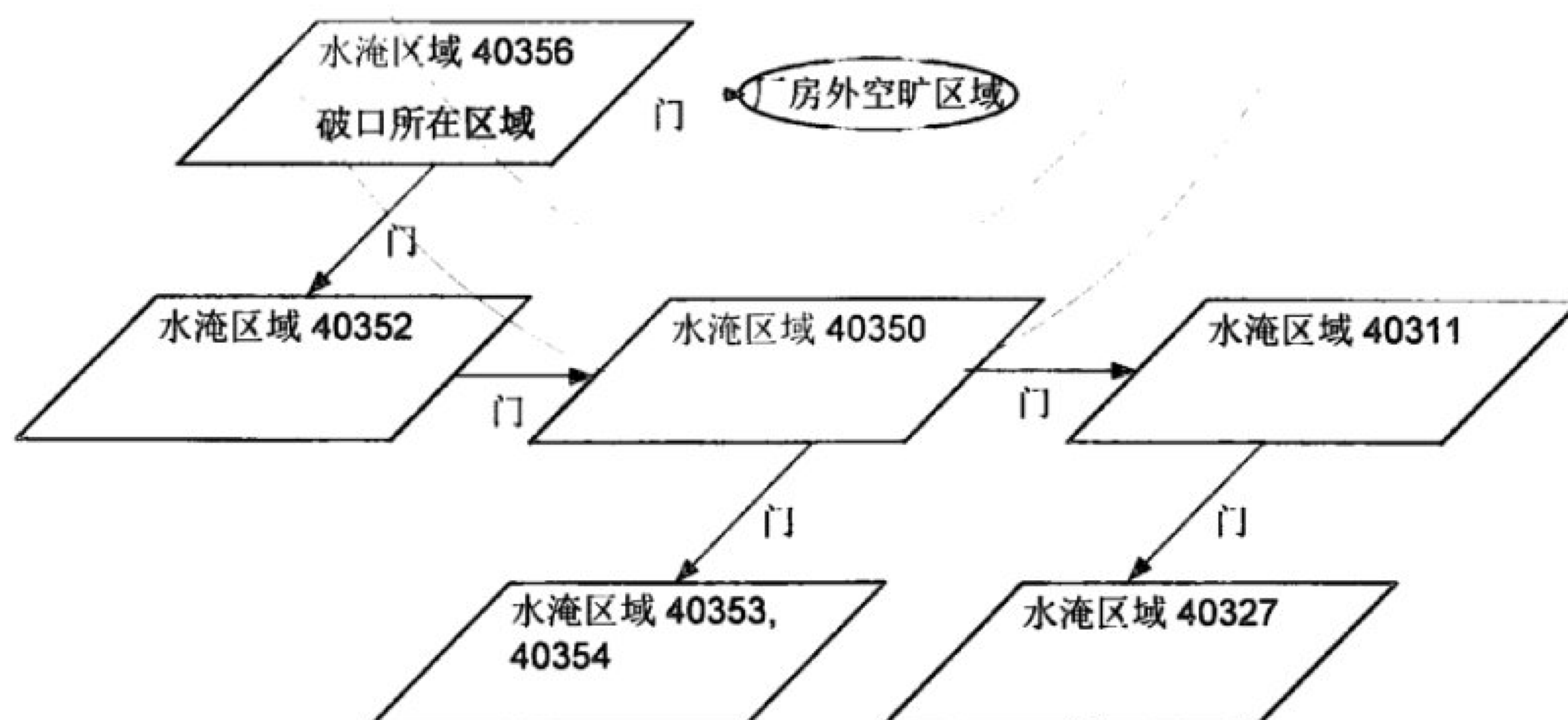


图3 水淹蔓延路径示例图

如果水淹区域的边界上有门，可根据以下原则进行分析：

- a) 对于水密门，假设水密门为完整的防水淹屏障；
- b) 对于非水密门和防火门，门作为防水淹屏障的完整性需要进行验证。例如，假设区域水淹水位超过一定高度时可推开门，向相邻区域蔓延。

表1列出了识别水淹区域所需要的信息源示例，这些信息需要在现场巡访中进一步确认。

表1 识别水淹区域所需信息源示例

需要的信息	信息来源
a) 区域的特定标识符	<ul style="list-style-type: none">• 电厂建筑图• 设计基准水淹计算• HELB 区域• 其他特定电厂水淹分析信息• 特定电厂的运行经验• 现场巡访信息• 压力边界失效影响评价
b) 识别每个实体边界（例如，东、南、西、北、顶部和底部）	
c) 识别直接连通的区域	
对于每个区域，识别屏障和蔓延路径：	
d) 门/门类型	
e) 管道贯穿件	
f) 电缆贯穿件	
g) 暖通设备路径和开孔	
h) 地漏	
i) 排水沟	
j) 地坑	
k) 墙壁	
对于以上每个屏障，确定其标高、尺寸、是否密封。确定门的开向和尺寸。	
l) 确定区域的尺寸	
m) 估算设备占房间多少空间	

4.3 任务 2：识别水淹源、水淹机理和重要 SSC

4.3.1 识别水淹源

电厂内所有流体输运的系统都认为是潜在的水淹源。水淹源通常认为是水，但其他流体也应该加以考虑。对于每个选定的水淹区域，分析中应包含以下水淹源：

- a) 水淹区域内的与流体系统相连设备（如管道、阀门、泵和水箱）；
- b) 水淹区域内的电厂内部水源（如水池）；
- c) 通过系统或构筑物与该区域相连的电厂外部水源（如水库或河流等最终热阱）；
- d) 来自其他水淹区域的泄漏（如地漏回流等）；
- e) 多机组或跨机组的潜在水源（对于公用系统和构筑物的多机组厂址）。

表2列出了识别水淹源所需的信息源示例，这些信息需要在现场巡访中进一步确认。

表2 识别水淹源所需信息示例

需要的信息	信息来源
a) 系统 b) 水淹源类型（管道、阀门、箱体） c) 水淹源边界 d) 水淹源编码 e) 水淹源的流体来源 f) 水淹源容量 g) 水淹源的标高 h) 水淹源的压力和温度 i) 水淹源的流体标高 j) 对于管道：尺寸、焊缝数目、管道长度或管段数，包括管道材料和降级影响	<ul style="list-style-type: none"> • 特定电厂的设备数据库 • 电厂建筑图 • 电厂总体布置图 • 管道轴测图 • 管道和仪表流程图（P&ID 图） • 设计基准水淹计算 • 管道性能数据 • 电厂历史数据 • 电厂系统说明书和运行规程

4.3.2 识别水淹机理

流体系统压力边界破裂可能由各种类型的失效模式造成，这通常与不同的降级或压力瞬态有关，也可能是在维修工作中，由于人员动作或误动导致水淹。表3列出了识别水淹机理所需的信息源示例。同样，这些信息需要通过现场巡访进一步确认。

表3 识别水淹机理所需信息示例

需要的信息	信息来源
水淹机理-设备 a) 确定导致管道、水箱、阀门、垫圈、膨胀节、接头等流体泄漏设备特定的失效模式 b) 识别设备标高 c) 确定破口尺寸 d) 识别管道的失效机理	<ul style="list-style-type: none"> • 特定电厂的设备数据库 • 电厂建筑图 • 电厂总体布置图 • 管道轴测图 • P&ID 流程图 • 设计基准水淹计算 • 管道性能数据 • 工业运行数据 • 系统工程师访谈信息 • 电厂历史数据
水淹机理-维修 e) 识别可能导致流体系统开口的维修活动 f) 识别维修活动的位置 g) 确定开口的尺寸	

4.3.3 识别易受水淹影响的 SSC

IFPSA关注的SSC不仅应包括内部事件PSA中模化的设备，还应包括内部事件PSA模型中未模化的易受水淹影响（其失效会影响正常电厂运行）的重要设备。PSA模型确定的有些设备边界可能包含多

个部件，例如泵失效可能是泵本体失效，也可能是相关的断路器、接线盒和仪表控制线路失效。识别PSA模化设备应包含PSA设备边界内的所有部件。

对于每个识别的SSC，应确定其在区域内的空间位置，并通过现场巡访确认SSC的确切位置及其相关的缓解设施。对于喷溅，假设其最小的影响范围为3 m的水平距离，而高能水源的影响范围为6 m的水平距离。该距离是根据经验确定的，应通过现场巡访进行确认。识别每个区域内的SSC需要用到的信息源示例如表4所示。

表4 识别 SSC 所需信息示例

需要的信息	信息来源
a) 识别需要考虑的 SSC 清单 b) 通过区域标识确定设备的位置 c) 识别设备的标高和相对于水淹源的方位 d) 识别受喷淋、局部水淹和重大水淹影响的可能性 e) 确定与部件相关的所有水淹缓解设施：例如屏障、水淹或喷淋防护能力等级	<ul style="list-style-type: none">内部事件 PSA 模型电厂建筑图电厂总平面布置图
f) 确定 SSC 失效是否导致停堆和/或缓解功能失效	<ul style="list-style-type: none">内部事件 PSA 模型电厂运行技术规格书

4.4 任务3：现场巡访

4.4.1 概述

上述两项任务都是基于已有电厂资料基础上开展的，为了验证这些信息的准确性，需要进行现场巡访。

执行巡访任务的团队至少应包括：水淹PSA分析人员、熟悉现有内部事件PSA的分析人员和熟悉电厂布置、系统、水淹源等的工程师或电厂操纵员。建议现场巡访采用空间自上而下的方法进行，从最高层开始，逐层往下，直到最底层。

现场巡访的范围应该包括验证任务1和2中所确定的信息，并获取未能从电厂原始文件中得到的其他信息。除现场核对电厂信息外，现场巡访的另一项任务是与电厂运行、维修、消防等人员访谈，了解电厂关于水淹事件的安全管理、事件响应等。获得的信息将支持水淹情景分析和人员可靠性分析。

在现场巡访中，应该确认重要SSC及其空间位置。对于每个重要电气设备，应该标明能够导致其故障的水淹高度。对于所有的水淹区域，应该确认房间内设备所占区域的容积。

通过现场巡访验证以下信息。

4.4.2 水淹区域

验证任务1中电厂信息的准确性，并且获取或验证：

- a) 划分水淹区域所需的空間信息；
- b) 确定水淹区域时所用的电厂设计特征。

4.4.3 水淹源

验证任务2中用于识别水淹源信息的准确性，并确定或验证水淹源的位置和泄漏路径。在现场巡访过程中，确定可能存在水淹风险的区域内的管道、阀门、泵和水箱等水淹源的信息，包括尺寸、材料等。与电厂外部水淹源相连或者从其他水淹区域泄漏的可能性也要进行评价和验证。

4.4.4 设备位置、水淹缓解和水淹蔓延路径

验证任务1和任务2中使用的电厂信息源的准确性：

- a) 位于每个水淹区域内的 SSC 的位置信息；
- b) 每个区域内用于防止重要电气设备遭受水淹影响的缓解特征（如地漏、屏障和水淹报警等）；
- c) 水淹蔓延路径。

附录A给出了内部水淹现场巡访检查清单示例。

上述现场巡访工作主要针对在运电厂。对于尚处于设计阶段或在建阶段的核电厂，无法进行有效的现场巡访工作。在此情况下，可通过查阅相关图纸等设计信息或与相关设计人员核实信息，或通过设计相同或相似的电厂做现场巡访来完成。待电厂具备现场巡访条件时，可考虑根据电厂具体布置和安装情况完成IFPSA升版。

4.5 任务4：水淹区域定性筛选

本任务的目的是完成定性筛选评价，以识别所有可信的、安全重要的水淹情景。筛选应考虑水淹源可能的蔓延路径并评估水淹蔓延的后果。

NB/T 20037.3—2012的支持性要求中用于筛选水淹区域的准则有以下几条：

- a) SR-IFSO-A3：筛除不包含 SR-IFSO-A1 和 SR-IFSO-A2 中所列任一水淹源的水淹区域。
SR-IFSO-A1 是针对识别电厂内所有重要水淹源的要求，SR-IFSO-A2 是针对识别多机组厂址内可能蔓延到另一机组水淹源的要求。
- b) SR-IFSN-A12：可以筛除这样的区域，区域的水淹不可能引起一个始发事件，也不需要电厂立即停堆，并且满足以下两个条件：
 - 1) 区域中没有 PSA 模化的缓解设备（包括水源能够蔓延到的相邻区域）；
 - 2) 区域内没有足以（如通过喷溅、淹没或其他适用的失效机理）导致由 SR-IFSN-A5 所确定设备的失效的水淹源。

筛选时不应考虑防止区域间蔓延的屏障失效的作用（即，在筛选时，不应将这一失效当作区域排水的一种手段来考虑）。

- c) SR-IFSN-A13：可以筛除这样的区域，该区域的水淹不可能引起一个始发事件，也不需要电厂立即停堆，并且，该水淹区域设有水淹缓解系统（如排水沟或地坑泵）能够防止出现不可接受的水淹深度，同时水淹（如通过喷溅、淹没或其他适用的失效机理）并不引起设备失效。只有在完全确信水淹缓解系统的能力和可靠性时，才能在筛选时考虑水淹缓解系统的作用。

如果筛除某区域没有采用上述筛选准则，需要提供合理的筛选依据。

NB/T 20037.3—2012允许根据可能的人员缓解动作来筛除水淹区域和水淹源。内部水淹情景建立高层次要求HLR-IFSN-A的支持性要求SR-IFSN-A14和SR-IFSN-A16准则提出，同时满足下列条件，则可以把可能的人员缓解动作作为水淹区域和水淹源筛选准则：

- a) 控制室里有水淹指示信号；
- b) 区域内的水淹源可以隔离；
- c) 对于最严重的水淹事件，可采取的缓解动作高可靠性。是否高可靠性的结论需通过论证说明（例如，人员动作由规程指导，有足够的响应时间，区域可到达，有充足的人力来采取行动）。

另外，SR-IFSN-A15准则给出用于水淹源筛选的筛选准则。

满足下列条件，则可以将水淹源筛除：

- a) 水淹源不足以引起设备失效（如通过喷溅、淹浸或其他适用的失效机理）；
- b) 水淹区域内的水淹缓解系统（如排水沟或地坑泵）能够防止不可接受的水淹深度，同时水淹不会引起设备失效；或水淹仅影响水淹源所属系统，该类型的失效在系统分析时已完成。

4.6 任务 5：水淹情景分析

4.6.1 水淹情景分析的要素

在IFPSA的定量化阶段，为了评价水淹情景对CDF的贡献，应详细定义水淹情景。水淹情景分析应包括以下要素：

- a) 水淹事件发生时电厂的运行状态；
- b) 水淹区域、水淹源和失效模式；
- c) 水淹事件类型（例如喷淋、局部水淹或重大水淹，水淹事件类型取决于管道最大泄漏率）；
- d) 系统水装量（用于确定特定水淹区域的最大淹没水位）；
- e) 水淹源的压力和温度。水淹源的压力和温度影响工艺介质泄漏后的环境温度。一些与潜在水淹源相邻的设备不能在持续的高温环境下运行。另外，高能流体释放也可能使得操纵员缓解动作更复杂；
- f) 评价为终止水淹、减少对电厂 SSC 损伤、从水淹事件中恢复的操纵员动作和缓解系统的响应；
- g) PSA 模型的事件树和故障树的接口，它将水淹发生和电厂始发事件、损坏状态相关联，以计算水淹导致的堆芯损坏频率。

在任务5中，根据定性筛选保留的水淹区域列出初步的水淹情景清单。该清单可用于界定后续任务的范围。在后续任务6、7、8和9中，即水淹事件频率计算、水淹后果分析、人员可靠性分析、IFPSA模型建立中，还会对水淹情景进一步详细定义。对每个保留下来的需要进一步分析的水淹情景，采用水淹区域、水淹源、可能受影响的设备、水淹隔离成功与否以及电厂影响进行描述。每个水淹情景对应一个FDS。对于有着相似影响的水淹情景，可归并到相同的FDS中。

4.6.2 建立水淹损伤决策树

可采用建立决策树的方法来记录水淹情景分析的过程。在开展完整的PSA建模之前，决策树方法有助于对水淹情景进行筛选和分组。为每个水淹源建立的水淹决策树需要处理以下四个问题：

- a) 哪些水淹事件类型适用——喷淋、局部水淹或重大水淹？
- b) 是否能够在水淹源所属系统的功能丧失前隔离水淹源？
- c) 是否能够在丧失受影响的 SSC 前隔离水淹源？
- d) 水淹导致的损伤和管道破损造成系统自身失效是否直接导致堆芯损坏，或叠加其他设备失效才能导致堆芯损坏？

对定性筛选保留下来的每个水淹区域进行决策树分析。

4.6.3 定义水淹损伤状态

如果水淹情景的后果相似或可由一组条件给予界定，则可对FDS进行合并。审查每个FDS来确定是否可以合并，并对每类FDS进行命名。图4中给出了一个FDS定义的示例。完整的PSA建模前，建议采用FDS对水淹情景进行组织、筛选和分类。也可以先对每个水淹情景进行单独建模。需要综合考虑PSA软件性能和FDS的类别来确定最合适的方法。

图4给出的水淹决策树示例中的SSC需要厂用水冷却，并且有备用冷却源可选择。FDS1表示仅受喷淋影响的水淹情景。由于喷淋（的泄漏率）在地面排水系统的排水能力范围之内，因此不需考虑对喷淋的水淹源进行隔离。FDS2表示局部水淹和重大水淹的情景下，压力边界失效、隔离成功，需要通

过停堆来防止堆芯损坏。FDS3表示安全相关设备的正常冷却不可用，但是备用冷源成功投入运行，需要通过停堆来防止堆芯损坏的重大水淹情景。FDS4表示正常冷源和备用冷源均失效的重大水淹。

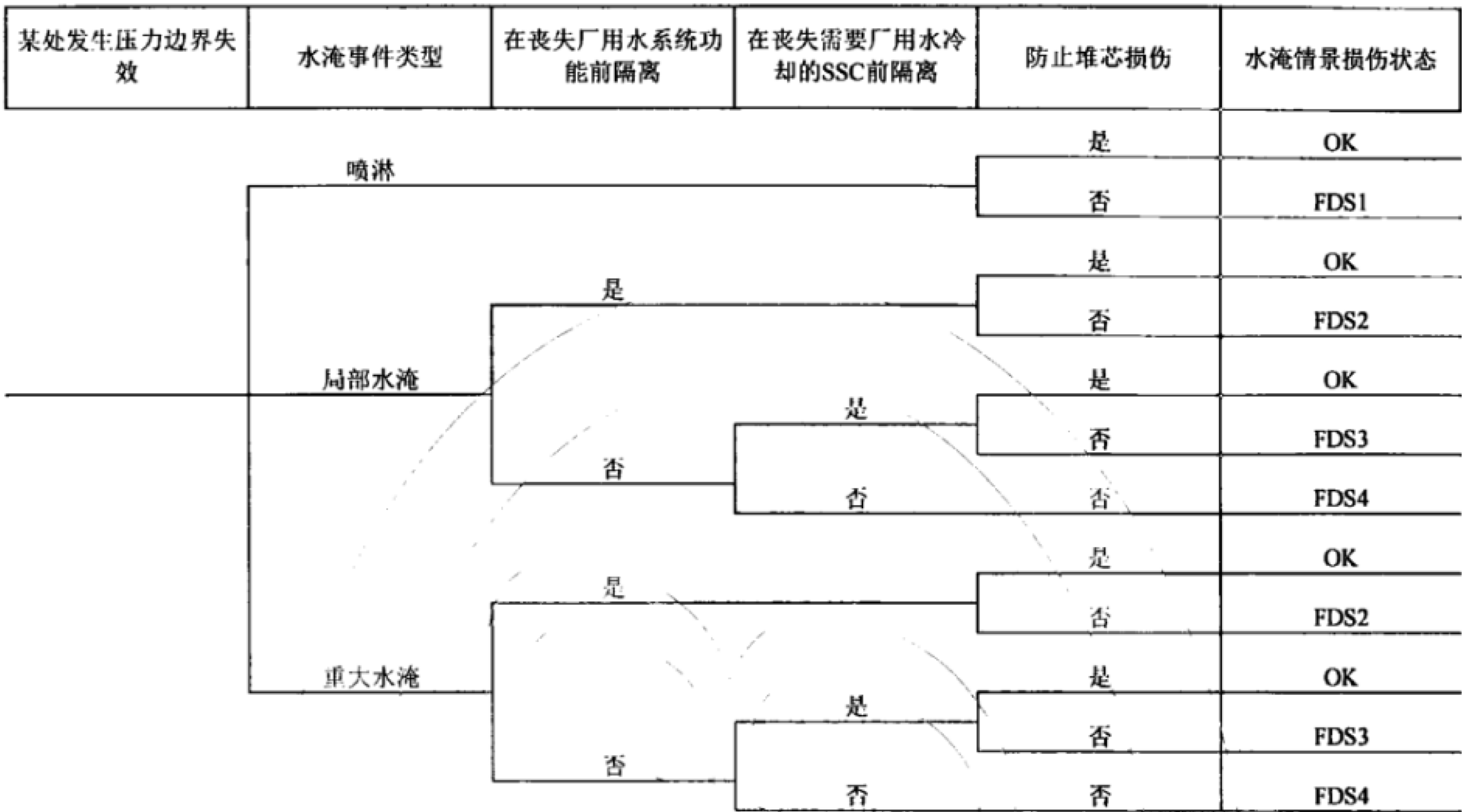


图4 水淹损伤状态示例

4.7 任务 6：水淹事件频率计算

4.7.1 分析概述

水淹事件频率计算的主要目的是量化定性筛选保留下来的各水淹区域发生水淹事件的频率。在IFPSA中，通常考虑两种水淹事件，一种是硬件失效引起的水淹，另一种是人员失误事件引起的水淹。

4.7.2 硬件失效引起的水淹

4.7.2.1 硬件失效引起的水淹事件频率计算方法

对于硬件失效引起的水淹事件频率计算采用以下方法：采用适当的通用数据库作为先验数据，结合特定电厂水淹事件和相应的系统管道长度进行贝叶斯处理，这样就可以得到适合该电厂的后验数据，该数据可以作为特定电厂IFPSA相关的系统、设备管径范围的水淹频率。最后需要结合信息收集或现场巡访统计得到各水淹区域内管道长度和管径数据，计算得到各水淹区域里的喷淋、局部水淹和重大水淹频率。

硬件失效引起的水淹事件频率定量化公式如下：

$$IE = \rho_{\text{系统}i} \times \{ \text{系统}i \text{ 的水淹源项} \} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- $\rho_{\text{系统}i}$ ——从数据库获得的喷淋、局部水淹或重大水淹的频率。管道失效率的单位是每堆年每单位长度（或每堆年每个）；
- 系统的水淹源项 ——系统i在该特定水淹区域内的管道长度，焊缝数目，或者管道节数。

水淹事件描述及其频率量化都涉及到水淹源项的定义,水淹源项定义为在特定水淹区域内理论上可能发生喷淋、局部水淹或重大水淹事件的非能动部件的总量。例如某水淹区域有布置管道,那么相应的水淹源项可用管道长度或管道节数等形式来描述。

4.7.2.2 管道破裂频率通用数据库

目前国际上有多项非能动部件压力边界故障率的公开数据源,如参考文献[2],其数据可满足NB/T 20037.3—2012要求,可作为内部水淹PSA的一个参考数据源。

4.7.3 人员操作导致的水淹

4.7.3.1 维修导致的水淹

在电厂运行期间,可能需要对一些重要设备进行在线维修。在执行维修活动之前,需要关闭流道上下游的阀门来进行隔离保护。在隔离保护失效的情况下,系统边界开口会导致房间内的设备遭受水淹,布置在水淹蔓延路径上的设备也可能受到水淹影响。

可先采用定性筛选评价列出一个完整而合理的维修导致的水淹情景清单,用于进一步分析。在筛选维修导致的水淹事件时需要审查电厂维修活动和维修规程,识别功率运行期间停运的主要设备。该审查应关注临时重新配置系统压力边界及可能造成压力边界破口的维修活动。压力边界的重新配置可采用改变阀位等措施来建立需要的保护。用于设备隔离所建立的上下游的屏障数目影响压力边界破口的可能性。上下游的隔离位置也可能影响压力边界的完整性。该考虑项也意味着上下游如果采用多级阀门可为压力边界失效提供更好的保护。可以在筛选过程中将阀门或其他用于隔离设备的失效率作为一个因子考虑。参考文献[3]中给出的电动阀失效率相当低。该数据意味着用两个或两个以上的电动阀重新配置的压力边界失效的可能性很低。而采用两个或更多手动阀重新配置的压力边界失效的可能性会更低。建议采用多级屏障隔离的重新配置的压力边界可以从维修导致的水淹情景中剔除。

还可以通过考虑隔离屏障的数目、功率运行期间维修活动的可能性、维修持续的时间和缓解的可能性进行定量筛选。通常在维修期间,维修点附近有电厂人员巡查。若有维修人员或其他相关人员在附近执行相关操作,电厂可以迅速探测到系统压力边界失效,以防止水淹事件发展为灾难性事件。

通常可以筛除以下维修活动:

- a) 即使发生水淹也不引起电厂停堆;
- b) 发生频率可以归入非水淹事件,且水淹不会导致PSA相关重要SSC失效;
- c) 开口可被两种或两种以上方式隔离;
- d) 开口是用盲板法兰或手动阀隔离的;
- e) 在功率运行状态下,不会或极少进行该维修活动;
- f) 除隔离失效外,还需叠加其他设备(如地坑泵)同时失效才导致的水淹情景;
- g) 在PSA相关重要SSC受到水淹影响之前,水淹事件很容易被发现。

4.7.3.2 其他人员操作导致的水淹

除维修导致的水淹事件外,还需要考虑电厂内其他人员操作导致的水淹事件发生的可能性,如试验、人员操作导致的消防系统误动作等。

4.7.3.3 人员操作导致的水淹事件频率计算方法

人员操作导致的水淹事件频率计算可采用以下方法:首先统计电厂发生的由于人员操作导致的水淹事件次数(若样本空间有限,也可采用相似电厂的事件次数),然后再将其加权平均到电厂可能发生人员操作导致水淹事件的各水淹区域中,以此得到各水淹区域的人员操作导致的水淹事件频率。

4.8 任务 7：水淹后果分析

4.8.1 分析概述

水淹后果分析主要包括确定电厂水淹蔓延路径和缓解信息、计算水淹源的泄漏率、计算最高淹没水位、评估水淹对电厂重要SSC的影响、识别内部水淹导致的始发事件。

4.8.2 确定水淹蔓延路径

识别水淹源之后，需要对周围区域进行审查，以确定水淹向其他区域蔓延的可能性。通常水淹会向建筑物内最低层面蔓延，但是有很多因素影响蔓延路径。例如，某些情况下，水淹会通过地面排水系统回流间接地蔓延至相连的其他区域。分析潜在蔓延路径时注意以下几点：

- a) 楼面特征：电厂许多区域有钢格栅，水会直接穿过格栅蔓延至下层区域；有些区域有楼面开孔也不会积水；其他楼面贯穿（如楼梯，管道或电缆贯穿件，供暖、通风和空调系统（HVAC）管线等）也应作为潜在蔓延路径考虑；
- b) 潜在的排水管线回流：高层面大流量的泄漏可能在排水系统内形成回流，并淹没与排水系统相连的低层面；
- c) 门：水密门可抵御预期水淹；普通门（非水密门）可考虑达到一定水位后失效打开；
- d) 墙壁坍塌：电厂内大部分实心砖墙体都能承受水淹导致的压力，但有些空心砖墙体不一定能承受水压。墙壁贯穿（管道和电缆贯穿件、HVAC 管线等）也要作为水淹蔓延路径考虑。

4.8.3 确定水淹缓解设施

NB/T 20037.3—2012 中要求分析人员对每个水淹区域和水淹源识别终止或控制水淹蔓延的设计特征。设计特征应包括：

- a) 水淹报警；
- b) 水淹防护堤、防水坎和地坑；
- c) 地漏；
- d) 地坑泵、防喷淋罩、水密门；
- e) 可自动或手动运行的防火挡板。

确定水淹蔓延路径和缓解的设计特征所需信息以及相应的信息源应该在巡访中加以证实。

4.8.4 识别限制水淹蔓延的电厂设施和操纵员动作

电厂设计中能自动终止水淹的系统较少，通常需要操纵员了解水淹情况后采取手动隔离动作。评价系统隔离能力应结合操纵员动作，电厂设计中能给操纵员提供预警的设施如下：

- a) 水淹报警：在评估有水淹报警的区域时可缩短发现和隔离水淹动作的时间。报警指示通常在主控室，并应将现场操纵员进行实地检查所用时间也包括在上述时间内。只有报警被充分证明是有效的才可考虑；
- b) 流量指示器：很多系统自带流量指示器用于监测系统运行。要评价这些流量指示器对高流量运行状态的识别和报警能力。应考虑识别高流量指示所需的操纵员动作；
- c) 放射性废物控制盘：这些控制盘提供放射性废物厂房内管道破裂位置的诊断信息。在水淹响应中放射性废物厂房现场操纵员和主控室操纵员的沟通很重要；
- d) 辐射探测器：通常情况下辐射探测器不能准确探测到水淹，因为放射性可能达不到仪器的报警整定值。只有在会出现高放射性的管道破口情形，才可考虑辐射探测器。

在评估水淹源时，应考虑隔离管道失效的可能性。管道失效可以通过止回阀隔离或在隔离信号产生后自动隔离或操纵员手动隔离。手动隔离成功的可能性取决于以下因素：

- a) 探测管道失效的方式;
- b) 用于隔离的设备的可用性和可达性;
- c) 可用时间是否充足;
- d) 操纵员诊断和执行动作是否成功。

操纵员定期巡检或在该区域有人员存在也可以探测到水淹事件。每个可能的操纵员动作需要人员可靠性分析来确定可能的缓解效果。

确定水淹蔓延路径和缓解措施所需的信息以及相应的信息来源应在巡访中加以确认。

4.8.5 水淹源的泄漏率

计算水淹源的泄漏率可用于水淹高度计算。

在评估水淹源泄漏率时,并不是该区域内所有的水淹源都要考虑。基本的筛选准则是,水淹源有足够大的水装量和足够大的流量,在无缓解的情况下,将导致重要SSC失效。以下几条有助于筛选分析:

- a) 通过流体系统的特征确定其是否作为潜在重要水源;
- b) 评价水淹区域内压力边界失效导致的可能的破口流量和水淹容积;
- c) 根据区域内所分析管段的长度和配件数量(例如,阀门、弯头、弯管等),计算压力边界破口处总的流动压降;
- d) 估算破口面积和相关体积流量。

对于某一压力恒定并且在发生破裂后仍能维持该压力的管道系统,破口泄漏率可以按如下公式计算:

$$Q = 1.11 \cdot d^2 \cdot \sqrt{\Delta P / K \rho} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- Q ——体积流量,单位为立方米每秒(m^3/s);
- d ——破口当量直径,单位为米(m);
- K ——出口损失和其他压头损失的阻力系数;
- ΔP ——管道内外压差,单位为帕斯卡(Pa);
- ρ ——管道内流体密度,单位为千克每立方米(kg/m^3)。

采用该公式可计算管道系统破口流量,管道系统破裂可能的最大流量还受到泵的最大设计流量的限制,分析时需要综合考虑。

4.8.6 计算最高淹没水位

对于有可能发生水淹的区域(包括可能被水淹蔓延的区域),需要计算其最高淹没水位。计算中需考虑水淹源、水流入本区域的途径、区域内设备占有率以及排水设施等。

进行详细计算时要求假设水淹源达到可能的最大水流速率和容积。例如,假设可能导致水淹的高能管道破裂方式为双端剪切断裂,或者水箱瞬间完全破裂。

计算每个区域的水淹高度时,应该在不考虑排水和其他保护措施的情况下计算预计的最大水淹高度。如果计算某区域水淹时,在不考虑蔓延路径情况下不会威胁该区域里的设备,那么该区域可在进一步水淹分析范围中排除,但仍然要考虑喷溅的后果;如果计算得出的水淹高度威胁到该区域的设备,则需要开展进一步详细计算,考虑缓解设施(如地漏等)的功能,确定SSC的实际可用情况。

4.8.7 评价水淹对设备的影响

4.8.7.1 概述

对于核电厂而言,有许多可导致设备失效的水淹效应,包括:淹浸、喷溅、射流冲击、甩管、潮湿、冷凝、温度等相关因素。NB/T 20037.3—2012 高层次要求 HLR-IFSN-A 的支持性要求 SR-IFSN-A6 要求应考虑淹浸和喷溅两种水淹效应。但对于其他水淹效应,应采用保守假设来做定性评估。

4.8.7.2 淹浸

假定淹浸将导致电气设备失效。一般假设淹到设备最下部(如基座之上),电气设备就失效,除非有详细的评价确定部分淹浸不会导致设备失效。该假设不适用于非能动部件,如热交换器、止回阀、手动阀和其他不改变位置或不需要外部驱动力改变位置的部件。

识别出所有易受水淹影响的重要 SSC 后,需要结合水淹高度计算(计算最高淹没水位)以及设备本身的位置(与最高淹没水位作比较)来判断该设备是否会被淹浸。

4.8.7.3 喷溅

位于水淹水位之上的设备在被淹浸之前可能先遭受喷溅而失效,所以水淹源的位置可能使得喷溅的影响比淹浸更为显著。除非有合适的防护,否则假设喷溅会导致电气设备失效,如电气柜。中能管道系统和高能管道系统应区别处理:对于进行保温包覆的中能管道,如果出现小的穿壁裂纹(如小孔),只会滴漏,而不会发生喷溅;中能裸管或高能管道会发生喷溅。通常认为喷溅的水平影响范围至少为 3 m,而对于承压水淹源,影响包括可视范围内的电气设备。这些处理原则需结合现场巡访的结果进行调整。由于管道失效可能出现在管道的任意一处,所以沿管道走向各处 3 m 内的设备都可能受影响。在现场巡访过程中,评估设备空间布置(如喷溅方向、防喷淋罩的有效性等)时,应适当采用工程判断。

通常,核电厂重要的电气设备在设计中会考虑喷溅影响而增加防喷淋罩等防水措施。在 IFPSA 中,可通过评估电气设备的 IP 防护等级来判断电气设备是否会遭受喷溅影响。

4.8.8 评估设备损坏

在分析中,应识别区域内所有可能受水淹影响的重要 SSC。完成这项工作往往还需要进行其他的评估来支持。例如,可根据设备位置、水淹区域容积、缓解设施和水淹源泄漏率等信息,确定设备是否会被淹没。还应考虑对水淹区域外设备的影响。例如,电气柜被淹没后,不仅会导致该电气柜失效,如果保护开关的进线被淹没,给该电气柜供电的母线也将失效。而对于相同区域内的其他一些水淹情景,由某一特定水淹源造成的水淹水位不会达到使设备失效的临界水位,相应的设备就可能不会受影响。

并非所有设备受到水淹影响时会失效。例如,热交换器在受到淹浸、喷溅或蒸汽的影响下仍然可以执行其功能。表 5 给出了各类设备的预期水淹影响。其中列为“不受影响”的设备是指如果该设备处于水淹环境,它仍然可以执行其功能。在内部水淹 PSA 中,该类设备不需进一步评估。

表 5 中列为“可能失效”的设备需要进一步分析。例如,环境鉴定分析可证明该设备在水淹环境中能否完成其功能。基于以下的一个或多个方面来考虑内部水淹影响下 SSC 的可用性:

- a) 试验或运行数据;
- b) 工程分析;
- c) 专家判断。

考虑 SSC 受水淹影响的信息需详细记录。如果无法确定该 SSC 是否受影响,宜保守认为其失效。

表5 水淹环境对设备可运行性的影响

设备类型	水淹环境的影响
电动阀	可能失效
气动阀	可能失效
液压阀	可能失效
电磁阀	可能失效
手动阀	可能由于喷溅或淹浸限制了操纵员的路径而影响可运行性
止回阀	不受影响
安全阀	不受影响
泵	可能失效
压缩机	可能失效
风机	可能失效
柴油发电机	可能失效
电缆	不受影响
电缆接头	可能失效
接线盒	可能失效
仪表	可能失效
过滤器/滤网	不受影响
热交换器	不受影响
水箱/安注箱	不受影响
管道	不受影响
导管	可能失效—注意导管可作为水淹路径 且需要评估导管的空间相关性
房间空气冷却器	可能失效
蒸发器/加热器	可能失效
其他电气设备	可能失效

4.8.9 识别内部水淹导致的始发事件

确定水淹导致的始发事件主要从3个方面来考虑：

- a) 水淹是否会导致电厂汽机跳闸或者反应堆停堆？
- b) 水淹是否会导致技术规格书中的安全相关设备不可用？
- c) 水淹是否会直接导致内部事件一级PSA中所分析的始发事件？

内部事件PSA中的始发事件分析为识别和评估水淹导致的始发事件建立了基础。对内部事件PSA中的始发事件进行审查，以确定水淹可以引起哪些始发事件。对于一些内部水淹情景，如果其导致的始发事件不在已有的始发事件清单之中，应建立一个新的始发事件。

4.9 任务8：水淹人员可靠性分析

4.9.1 分析概述

内部水淹事件对操纵员响应能力提出了特有的挑战，如：

- a) 对于大的水淹事件，可能出现预料不到的失效组合。这些失效组合可能导致按现有应急运行规程来响应会变得更加困难；
- b) 水淹可能会妨碍操纵员就地或在主控室内执行缓解措施。即使水淹未必一定会导致重要设备失效，但它可能阻碍操纵员进行必要的操作或接近相关设备，或由于除响应始发事件外，还需处理水淹而导致响应的延迟；
- c) 水淹很可能会增加紧张程度、工作负荷和操纵员响应的复杂性。

在内部水淹人员可靠性分析中，NB/T 20037.3—2012 要求分析人员考虑以下特定情景对绩效形成因子（PSF）的影响：

- a) 额外的工作负荷和紧张程度；
- b) 信号指示的有效性；
- c) 水淹对事故缓解、电厂响应、时间窗口和恢复动作的影响；
- d) 对水淹特定操作的支持和培训，例如规程的支持、培训演练情况。

4.9.2 执行人员可靠性分析

水淹响应动作的人员可靠性分析包括识别和确认相关的警报、指示和规程。该任务从收集相关电厂文件开始，并进行人员访谈，所选电厂人员要熟悉内部水淹相关培训、规程和操作。

前述步骤中包括了对各种水淹缓解措施和水流量的评估。成功的水淹缓解措施可能意味着关闭一系列系统或者整个系统，或者切断其支持系统。确定并审查相关规程，例如报警响应规程、应急运行规程等。在水淹响应的诊断阶段，电厂操纵员可能要综合多个规程进行操作。

4.9.3 人员失误概率量化

为一致性考虑，推荐 IFPSA 中的 HRA 采用与内部事件 HRA 相同的量化方法。

在 IFPSA 模型初步量化中，可先采用 HFE 筛选值计算，如下详细说明。如果通过审查初步量化的支配性最小割集，认为该水淹情景是重要的，则需要将其 HFE 筛选值替换为详细 HRA 计算得到的值，再计算其量化结果。

模拟内部水淹分析中的事故后 HFE 和量化事故序列中的事故后 HFE，可参考以下建议：

- a) 在就地缓解水淹事件时，水淹分析应考虑电厂就地操作地点的可达性；
- b) 应重新检查非水淹电厂响应中考虑的人员动作，确认规程路径仍然有效。因为在一次严重的水淹事故中，可能会出现大量的故障，故相对于单一的内部事件，异常运行规程（AOP）的相关性较小，该规程是基于事件的。通过与有经验的运行人员进行交流，可以更好地确定事故发展进程；
- c) 筛选值：水淹事件发生后立即进行人员干预的可能性比较低。因此，可假设主控室操纵员无法立即对水淹事故后直接发生的事件进行有效的响应。

在考虑任何就地操作之前，应确认人员通道无阻碍。电厂实体上的损坏可能大大延长就地操作的执行时间。对于这些事件采用以下筛选方法：

- 1) 所有需要就地操作的 HFE，如果目标区域的进入通道受限制，那么失效概率设为 1.0；
- 2) 不管是新的 HFE 还是之前已有的 HFE，如果相关的仪表或者控制可能受水淹影响并要求在水淹事故后 30 min 之内完成，失效概率设为 1.0；
- 3) 对于需要在水淹事故后 1 h 内完成的 HFE，首先核对是否有指导该动作的操作规程，是否有足够的时间去完成该动作。如果这两个条件都满足，对于有书面规程的内部事件 HFE 的 HEP 值，增大相应 HFE 的 HEP 值；对于没有规程指导也没有相应内部事件 HRA 的新 HFE 取 1.0；

- 4) 其他 HFE (不受水淹影响, 且有超过 1 h 的可用时间来完成动作) 可取内部事件 HFE 的 HEP 值。
- d) 修正已有的 HRA: 对于需要开展详细 HRA 的人员动作, 可根据以下几条对 HRA 进行修正:
 - 1) 对于水淹事件后 1 h 内的人员动作, 应大大增加操纵员响应时间 (通过因子修正);
 - 2) 对于水淹事件后 1 h 内的人员动作, 考虑增加压力等级;
 - 3) 其他有超过 1 h 可用时间的 HFE 仍然取内部事件 HFE 的 HEP 值。

4.9.4 电厂恢复动作

在完成 IFPSA 模型初始定量化后, 通常可通过审查支配性最小割集来识别潜在的恢复动作。如关闭阀门来隔离破口或停泵来终止水流。如果这些动作没有规程指引, 应采用 HRA 方法中建议的保守 HEP 值。对已规程化的恢复动作, 应进行详细的 HRA。需要考虑恢复动作对部件或系统运行的后续影响。恢复动作的定量化评价适用以下准则:

- a) 如果以下几项能满足并有文档记录, 隔离动作可取 0.1 的筛选值:
 - 1) 主控室内的水淹指示有效;
 - 2) 水淹源可被隔离, 隔离设备未受水淹影响, 且该区域可达 (如果需要就地操作);
 - 3) 操作有规程指引;
 - 4) 有足够的时间完成操作, 包括探测破口位置所需的时间。
- b) 如果不满足以上条件, 应进行详细的 HRA。为保持一致性, 应采用与内部事件 PSA 相同的 HRA 方法。

4.9.5 确定时间窗口

水淹人员可靠性分析需要通过水淹高度计算来确定人员响应的时间窗口。相同的管道可发生不同水淹事件类型, 导致重要 SSC 失效的时间不同, 可供电厂人员执行缓解措施的时间窗口也不同。必要时可细化考虑时间窗口。

4.10 任务 9: 建立水淹情景的 PSA 模型

通过前面各步骤的分析, 已获得需要进行详细水淹分析的水淹区域, 以及各水淹区域中需要分析的设备、水淹事件频率等信息。根据这些信息, 建立能反映电厂实际情况和水淹事件响应规程的故障树/事件树模型。

故障树模型的建立一般可以在内部事件分析中建立的故障树基础上进行, 并考虑水淹事件对设备的影响来修改相应的故障树模型。例如, 如果某系统的电动泵 MP01A 布置在房间 R01 中, 某些引起该房间水淹的情景会导致 MP01A 失效, 那么在哪些水淹情景下, 包含该泵失效的对应故障树中, 应将其设为失效。由于水淹情景中包含人员动作, 整合之后的模型应考虑这些动作与其他人员动作的相关性。由于水淹导致的始发事件与内部始发事件的电厂响应大多相同, 因此事件树一般都可参照现有内部事件中的事件树逻辑建立。建树时需反映水淹导致的始发事件和设备失效。如果现有内部事件中没有合适的故障树或事件树, 则需要另建立新的故障树或事件树, 以反映真实的水淹情景。

4.11 任务 10: 水淹情景的定量化

建立水淹情景的 PSA 模型后, 开展水淹情景的定量化, 得到相应分析结果。

内部水淹 PSA 定量化分析内容与内部事件 PSA 类似, 结合内部水淹 PSA 特点, 定量化结果通常可包括:

- a) 电厂总的堆芯损坏频率 (点估计值及不确定性分布);
- b) 各个厂房、水淹区域、水淹情景、始发事件、支配性事故序列的堆芯损坏频率及贡献;

- c) 相关支配性最小割集 (MCS) 及 MCS 频率;
- d) 重要度、敏感性和不确定性分析结果。

水淹情景的定量化内容应满足 NB/T 20037.3—2012 高层次要求 HLR-IFQU-A 的所有支持性要求。

IFPSA 的重要度、敏感性和不确定性分析的分析方法和内容可参考内部事件 PSA, 并结合 IFPSA 中采用的特定分析假设、参数不确定性等进行分析。

IFPSA 模型定量化中的不确定性的完整评价应考虑水淹事件频率的不确定性, 以及模型的完整性和精确性产生的不确定性。

IFPSA 模型定量化中的敏感性分析和重要度分析应计算分析过程中采用的分析假设、保守处理等对计算结果的影响, 例如 4.2 中假设: 区域水淹水位超过一定高度时可推开门, 向相邻区域漫延, 应酌情评估该类假设和保守处理的敏感性和重要度。

4.12 任务 11: IFPSA 文件编制

4.12.1 IFPSA 定性评价部分的文件编制

任务 1 至任务 3 的文档应该全面系统, 以便于进一步应用和升版。可将水淹区域和设备位置信息做成电子表格或数据库, 通过数据筛选和查询识别水淹情景。高质量、可追溯的文档系统能清楚的给出 IFPSA 模型建立中的巡访内容, 操纵员访谈信息和其他相关内容。

4.12.2 IFPSA 定量评价部分的文件编制

因为 IFPSA 要使用内部事件 PSA 的信息, 随着水淹情景的建立, 需要进行合理的 PSA 模型结构管理。应根据现有的 PSA 文件管理程序记录 IFPSA 模型与内部事件 PSA 模型的整合过程。

详细的 IFPSA 文件编制要求参考 NB/T 20037.3—2012。

附录 A
(资料性附录)
内部水淹巡访检查清单示例

本附录列举了一个现场巡访检查清单的示例。

现场巡访分析人员：_____ 日期：_____

总体信息

电厂/机组：_____ 厂房：_____
房间/区域/分区：_____ 楼层高度：_____ 设备占有率：_____

A.1 水淹区域内设备信息

表 A.1 水淹区域内设备信息

序号	系统	设备	距地面高度
1.			
2.			
3.			

A.2 水淹区域内水淹源信息

表 A.2 水淹区域内的水箱清单

序号	水箱 ID	水箱容积
1.		
2.		
3.		

表 A.3 水淹区域内管道信息

序号	系统	管径	长度
1.			
2.			
3.			

表 A.4 水淹区域内其他水淹源

序号	系统	设备
1.		
2.		
3.		

A.3 屏障信息

表 A.5 靠近门的防水槛

防水槛高度	防水槛长度/尺寸

表 A.6 设备周围的防水坎

防水坎高度	防水坎长度/尺寸	防护的设备

表 A.7 门信息

门缝高度	宽度	开启方向		需要读卡进入	
		向内	向外	是	否

A.4 排水设施

表 A.8 排水系统

地漏	地漏尺寸	情况		
		清洁	降级	堵塞

表 A.9 墙贯穿件（天窗、管道贯穿件等）

序号	贯穿件	流通面积	离地板的高度	是否封闭？
1.				
2.				
3.				

A. 10 地板贯穿件（设备开口、管道贯穿件等）

序号	贯穿件	流通面积	是否封闭？	是否围起来？	防水坎高度
1.					
2.					
3.					

表 A. 11 地坑泵

序号	地坑泵	启动和指示装置的位置和高度	排水能力
1.			
2.			
3.			

A. 5 记录水漫延的可能性

表 A. 12 水漫延路径

序号	可能漫延到的房间	漫延途径
1.		
2.		
3.		

参 考 文 献

- [1] EJ/T 335—1998 轻水堆核电厂假想管道破损事故防护设计准则
- [2] ASME/ANS RA-Sa-2009 Addenda to ASME/ANS RA-S-2008, Standard for level 1/large early release frequency probabilistic risk assessment for nuclear power plant applications, ASME, February 2009
- [3] EPRI-1021086 Pipe rupture frequencies for internal flooding probabilistic risk assessments, Rev.2, Electric Power Research Institute, November 2010
- [4] NUREG/CR-6928 U.S. Nuclear regulatory commission, Industry-average performance for components and initiating events at U.S. commercial nuclear power plants, Washington DC, February 2007

中 华 人 民 共 和 国
能 源 行 业 标 准
核电厂内部水淹概率安全评价开发方法
NB/T 20425—2017

*

核工业标准化研究所出版发行
北京海淀区骚子营1号院
邮政编码：100091
电 话：010-62863505
原子能出版社印刷
版权专有 不得翻印

*

2017年7月第1版 2017年7月第1次印刷
印数 1—50 定价 51.00元