

核安全导则 HAD 103/16-2026

核动力厂化学管理

(国家核安全局2026年9月4日批准发布)

国家核安全局

核动力厂化学管理

(2026年9月4日 国家核安全局批准发布)

本导则自2026年9月4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	营运单位的职责	1
3	化学大纲	4
3.1	总体要求	4
3.2	化学控制	7
3.2.1	概述	7
3.2.2	一回路化学控制	10
3.2.3	二回路化学控制	13
3.3	化学监测	15
3.4	辐射源项的化学优化	22
3.5	化学品和其他物品的质量控制	27
4	化学数据的管理	30
5	培训和资格	31
	名词解释	34

1 引言

1.1 目的

本导则为核动力厂化学和放射化学管理提供指导，以减缓构筑物、系统和设备的性能降级，保障其完整性与可用性。同时，尽可能减少放射性废物的产生，降低辐射场剂量水平。在符合相关法规标准要求的前提下，将化学物质和放射性物质向环境的排放控制在可合理达到的尽量低水平。

1.2 范围

本导则适用于陆上固定式水冷核动力厂的化学和放射化学管理。其他类型的核动力厂可参照本导则执行。

2 营运单位的职责

2.1 营运单位应依据所有化学活动的要求建立并维持一个全面的化学管理体系。为支持该体系的有效运行，营运单位应制定和实施相应的化学大纲。该体系与大纲应包括资源管理、化学和放射化学控制、放射性物质沉积控制、化学和放射化学监测、化学和放射化学数据管理、质量控制、结果审查以及人员培训和资格认证。营运单位应对其有效性进行定期评估与持续改进。

2.2 营运单位应综合考虑组织机构设置（如多堆场址）以及核动力厂安全分析结果，明确化学及相关部门在化学管理工作中的职责。

2.3 营运单位应在调试开始之前制定化学大纲，通过调试

阶段的充分验证和优化，确保其在正常运行阶段有效实施。同时，化学大纲在核动力厂的整个运行寿期内和退役准备时符合设计假设与制造商要求。

2.4 营运单位应配备合格的管理人员和足够的合格化学人员，以保证核动力厂的安全运行，并在需要时能迅速到岗。

2.5 营运单位应为开发化学控制方法提供足够的资源。应为化学测量配备足够的设施、取样和测量设备（包括实验室分析仪表和在线监测仪表）。营运单位还应确保化学设备和相关系统在维修和修改后能够满足验收准则，可以恢复运行。

2.6 营运单位应为化学领域安全性能的保持或持续改进设定明确的目标。

2.7 营运单位在实施缩短大修计划中的停堆时间及加快机组启动进程的措施时，须确保相关措施不会对化学控制程序的遵守造成影响（例如大修停堆与启动阶段的净化操作，以及在停堆期间维持设备处于适宜的干态或湿态保养条件）。

2.8 营运单位应定期对化学活动进行监督，以确保遵守核动力厂政策和化学大纲。此类监督还包括人因方面（如工作量、绩效评估、工作压力等）。

2.9 化学部门应确保其内部的信息流转有序高效。成文信息应准确分发、规范归档，并易于检索。

2.10 化学大纲的自评估应作为核动力厂自评估计划的组成部分。需定期对化学大纲开展监查、独立审查及其他形式的自评估。化学大纲的自评估计划需包含对实验室内部和实验室

间比对计划的适宜性评估，比对计划应包括化学和放射化学监测项目。对于评估发现的化学大纲不符之处，应及时报告并纳入核动力厂的纠正措施计划，且必须采取必要的纠正措施，以防止安全相关事件的发生，或缓解此类事件的后果。同时，需定期对纠正措施的实施状态进行评估。

2.11 营运单位应为化学工作制定绩效指标，包括相关运行指标，以监测其有效性。同时，需定期向工作人员（化学人员及其他技术支持人员）进行通报，并提示其他部门和高层管理人员关注相关指标。此外，应对化学绩效指标开展趋势分析，必要时及时采取预防和/或纠正措施。

2.12 营运单位应定期收集国内外核动力厂化学领域的运行经验，以确保信息的有效交流以及化学大纲的及时更新。化学大纲相关的运行经验反馈，应在分析评估后根据需要在化学大纲的程序或其他类型的核动力厂文件中实施。

2.13 若计划开展与化学相关的设计修改工作，化学人员需参与到修改设计的审查过程中。化学人员应了解这些变更情况及其对化学大纲的影响。在与化学大纲相关的设计基准文件完成修改后，化学部门应在必要时修订化学大纲，并更新相关文件。

2.14 在审查老化、腐蚀、泄漏、大修计划、应急准备与响应计划，以及降低核动力厂剂量率和减少液态放射性废物等相关活动时，应考虑化学相关信息。

2.15 化学部门和其他部门（运行、维修和技术支持等）

之间应建立适当的接口安排，以确保职责明确，能够及时对化学系统和设备进行必要的维修，避免维修积压，从而满足核动力厂安全分析所确定的相关要求。

2.16 营运单位应与监管机构、设计单位以及内、外部技术支持机构建立明确的接口，并在核动力厂的文件中明确说明向监管机构报告的内容与流程，确保化学人员能够正确理解和执行。

2.17 为满足化学管理的要求，营运单位在必要时可聘请合格的外部承包商和顾问。营运单位可以将化学管理的部分工作任务委托给其他组织，但必须对全部委托工作的质量与安全承担总体责任。营运单位应为在化学领域工作的承包商提供充分支持并进行必要的管理。

2.18 从事化学相关工作的承包商须满足与核动力厂化学人员同等的要求，应具备与其承担职责相适应的专业知识和技能，尤其在化学专业技能与能力、程序遵守、结果汇报、安全文化以及绩效评估等方面。

2.19 化学部门和培训部门应为承包商提供所需的信息和必要的培训，以确保其理解相关的核动力厂程序。

3 化学大纲

3.1 总体要求

3.1.1 化学大纲是化学管理的一系列相关文件的集合，应包括化学参数的选择、监测和分析。化学指令应符合运行限制和

条件，应明确定义特定化学参数的分级限值（如适用，下同），并规定在不同运行阶段可采取的纠正措施，以确保化学大纲的有效实施。

3.1.2 化学大纲至少应包含以下方面：

（1）应明确管理的构筑物、系统和设备的范围。

（2）应根据核动力厂设计与安全分析，制定核动力厂特定的化学管理要求，此要求有助于核动力厂在所有运行状态、设计基准事故以及设计扩展工况下的安全运行。化学管理部门需了解潜在的设计变更及其对化学大纲的影响，在必要时应更新化学大纲。

（3）应当综合考量国内外运行经验反馈及良好实践（包括运行事件反馈、研究成果、标准修订等），并对化学大纲实施定期审查；经评估确认有效的改进项应及时纳入修订范畴。化学人员需定期审查可获取的内外部运行经验信息，并及时向相关化学人员传达关键运行经验信息及审查结论。

（4）一回路化学工况应考虑其对以下方面的潜在影响：

（a）结构材料的特定腐蚀机理；（b）燃料包壳腐蚀；（c）腐蚀产物的活化和迁移；（d）剂量率；（e）燃料棒积垢引起的功率偏移（若适用）；（f）燃料棒积垢引起的局部腐蚀。

（5）二回路化学工况应尽可能减少：（a）系统和设备中的腐蚀；（b）蒸汽发生器中的沉积物；（c）滞流区缝隙中有害杂质的浓度；（d）凝汽器中水和/或气部分的泄漏，并确保蒸汽发生器排污水和凝汽器水得到有效净化。

(6) 对于配备冷却塔的半封闭冷却系统的化学控制，需考虑：(a) 系统设计和系统中存在的材料类型；(b) 系统材料的腐蚀与结垢；(c) 有关微生物生长的监管要求；(d) 向环境排放的废水；(e) 原水水质；(f) 系统运行所需化学品的供应。

(7) 应采用适当的化学控制参数和诊断参数，以确保核动力厂的安全可靠运行。

(8) 应及时处理偏离正常运行化学限值的偏差（如缺陷、不利趋势、快速瞬变等）。需定期评估用于识别此类偏差的方法的有效性，并在必要时予以改进。

(9) 应定期检查、校准和维护在线仪表和实验室设备。

(10) 应制定规程来规定工艺系统的取样代表性和频率。

(11) 应避免化学品和其他物品中的杂质侵入。应评估材料变更对化学控制的影响，以尽量减少腐蚀产物的产生和溶解及其在反应堆堆芯中的活化。

(12) 应对压水堆和重水堆的一次侧和二次侧冷却水开展放射化学测量，以监测压力边界是否存在泄漏。

(13) 放射性物质与化学物质的排放须严格遵循国家法规，并控制在可合理达到的尽量低水平。化学部门应评估、理解并记录化学工况变更对核动力厂安全运行产生的潜在影响，其中包括与放射性物质及化学物质排放相关的影响。

(14) 应正确储存和使用危险化学品，应随时向工作人员提供化学品安全技术说明书。该说明书应包括化学品可能对

工作人员健康造成的危害、预防措施和医疗建议等内容。

(15) 化学大纲应包含在必要时选用适宜去污技术的指导性要求。

(16) 在建造和调试阶段，应在核动力厂文件中规定构筑物、系统和设备的清洁度要求和储存条件，以确保构筑物、系统和设备在核动力厂的整个寿期内安全可靠地运行。

(17) 化学大纲应明确规定在调试及停堆期间对构筑物、系统和设备进行化学保养的要求。

3.2 化学控制

3.2.1 概述

3.2.1.1 化学控制应确保化学大纲范围内的系统按照化学工况运行。化学工况取决于核动力厂的设计和所用的结构材料。应结合最新知识、研究成果和运行经验持续改进化学控制。

3.2.1.2 应开展化学和放射化学监测，定期评估核动力厂相关系统中化学控制的有效性。

3.2.1.3 为了实现有效的化学控制，化学大纲应规定需遵守的详细化学参数。在参数制定时，应考虑其安全重要性，且应以充分的技术知识和国际核工业经验为依据。

3.2.1.4 特定控制参数应规定明确的分级限值，并确保其得到严格执行。一旦参数偏离既定限值，须在规定时间内实施纠正措施；必要时，需继续采用更严格的控制措施。

3.2.1.5 为了及时实施纠正措施，化学部门应采用足够灵敏和准确的分析技术，合理选择控制参数的监测频率，如果无

法进行连续监测，则应实施充分的取样。

3.2.1.6 化学文件中宜规定核动力厂特定控制参数的期望值，以避免意外超过分级限值。

3.2.1.7 应保存并评估化学控制参数的记录，对于任何超出限值的参数或与化学大纲的偏离，均应按照营运单位的管理制度进行处理。

3.2.1.8 应定义诊断参数，为核动力厂化学控制提供更多信息。

3.2.1.9 化学部门需持续评估控制参数及重要诊断参数的变化趋势，并在发现不利趋势时及时采取主动应对措施，进行趋势分析，以识别长期与短期偏差。

3.2.1.10 化学大纲或其他相关核动力厂文件中应明确规定以下阶段的化学参数及其相应的分级限值：

- (1) 从建造至调试的过渡阶段；
- (2) 调试；
- (3) 启动；
- (4) 正常运行；
- (5) 瞬态；
- (6) 停堆；
- (7) 大修。

3.2.1.11 应规定一回路冷却剂中放射性比活度的运行限值，同时还应跟踪核素变化趋势，以辅助判断燃料缺陷和可疑燃料泄漏。若存在燃料缺陷和可疑燃料泄漏，应测量一回路冷却剂

中的 α 核素。

3.2.1.12 应监测以下阶段的放射化学参数，分析和评估其趋势，出现偏差时结合化学和运行数据进行分析：

- (1) 功率运行（一回路冷却剂和二回路冷却水）；
- (2) 瞬态（一回路冷却剂，若二回路运行时则包括二回路冷却水）；
- (3) 停堆（一回路冷却剂，若二回路运行时则包括二回路冷却水）；
- (4) 大修（一回路冷却剂）。

3.2.1.13 在评估职业照射和环境排放时应考虑放射化学参数。

3.2.1.14 在停堆期间，设备和系统需按照安全要求，在适宜的保养条件下开展维护。应监测并记录保养参数，必要时采取纠正措施。

3.2.1.15 含有液态中子吸收剂的能动和非能动安全系统（如安全壳喷淋系统）的化学工况，应按照技术规格书的要求进行管理。

3.2.1.16 应定期监测和控制安全重要系统的润滑油和变压器油的油品品质。

3.2.1.17 在柴油注入储油罐之前，须确认其油品品质符合相关标准。应依据规定对柴油发电机储油罐内的柴油品质进行检验，并对监测数据开展趋势分析，以及时识别性能下降的初期征兆。

3.2.1.18 应监测含有气体的储罐和不通风的空间，以防止因氧气和氢气的同时积聚而引发爆炸，并避免因可能存在气态裂变产物和含碘物质聚集而导致的人员意外照射。此外，还需对辐照分解可能产生爆炸性气体混合物的液体储罐进行监测。

3.2.1.19 应控制和监测可能有微生物生长和微生物引起腐蚀的冷却系统和其他系统中的化学试剂（如化学缓蚀剂、生物抑制剂等）的添加浓度。在该类试剂换型、添加浓度改变等情况下，还应评估其对工业安全和环境的潜在影响。

3.2.1.20 应对生产废水中的化学污染物开展监测，确保向环境排放的废水符合国家及地方现行排放标准的要求。

3.2.2 一回路化学控制

压水反应堆一回路化学控制

3.2.2.1 应定期监测用于控制堆芯反应性的硼浓度和 ^{10}B 丰度。

3.2.2.2 在整个燃料循环中，应通过调节碱化剂浓度与一回路中的硼进行协同控制，来保持最佳 pH_T 值。在压水堆中可使用氢氧化锂或氢氧化钾和氨来调节 pH_T 值。当使用氢氧化钾时，需监测总碱混合物（注入的钾、中子反应产生的锂以及作为杂质的钠）。

3.2.2.3 功率运行期间溶解氢浓度应保持在规定范围内，以尽可能降低一回路冷却剂中溶解氧和其他氧化物质的浓度。应监测补水中的溶解氧浓度不超过规定值，必要时可采用物理或化学方法进行除氧。

3.2.2.4 应保持腐蚀性杂质低于规定限值，以减缓一回路系统设备的腐蚀。重要的腐蚀性杂质包括溶解氧、氯化物、氟化物和硫酸盐。

3.2.2.5 为了减少低溶解度化合物在燃料包壳表面的沉积，应保持其低于规定限值，特别是对于采用富集硼的核动力厂。这类化合物包括钙化合物、镁化合物、铝化合物，可能还包括二氧化硅。

3.2.2.6 应严格遵守停堆和启动规程，通过一回路净化系统去除腐蚀产物，以尽可能减少腐蚀，控制腐蚀产物的释放。

3.2.2.7 为优化化学控制，可向一回路冷却剂中添加其他化合物。应对贫化铀等添加剂的应用情况进行评估，从而更好地控制腐蚀产物的源项和镍基合金的应力腐蚀开裂。

3.2.2.8 应明确规定采用注铀工艺的核动力厂中铀的浓度上限，以满足燃料供应商或堆芯设计方的要求。实施注铀工艺时，二氧化硅与铀可能形成低溶解度化合物，并沉积在燃料表面，因此需定期监测二氧化硅及铀的浓度。

重水反应堆主热传输系统和慢化剂化学控制

3.2.2.10 应当建立重水（ D_2O ）管理系统，用于统计重水存量并控制氘活度水平。在该系统中，需依据重水浓度及其氘活度实施分类管理。

3.2.2.11 主热传输系统中重水浓度不允许降低到低于确保在主热传输系统出现空泡时防止过度正反应性的数值。此外，主热传输系统中重水浓度应低于慢化剂重水浓度，以保证在堆

内破口事故时，高压冷却剂进入慢化剂时引入足够负反应性。

3.2.2.12 液体毒物（如硼或钆等毒物）的浓度应以确保反应堆在发生设计基准事故时保持次临界状态所需的负反应性为依据。应在安全分析中明确达到停堆状态所需的毒物浓度。

3.2.2.13 若采用经过同位素富集的硼酸或钆盐作为中子毒物，则应在药剂加入系统前进行硼或钆的同位素丰度验证，以确保准确的核反应性计算。

3.2.2.14 应确定覆盖气体系统中氘（或氢）和氧浓度的上限值和/或下限值，以避免产生爆炸性气体混合物。

3.2.2.15 主热传输系统中溶解氘的浓度，应当维持在既可有效抑制辐射分解，又能使系统设备不受氢化影响的水平。

3.2.2.16 氯化物、氟化物和硫酸盐以及腐蚀产物的浓度应控制在规定的限值内。若电导率的测量值与理论值存在偏差，应立即采取行动，调查是否有离子杂质进入，或系统取样技术是否存在问题。

3.2.2.17 在重水堆停堆期间，即使净化系统与化学添加系统的可用性受到限制，仍需采取措施以维持最佳的化学工况。当反应堆处于冷态及卸压状态时，不应进行氢气添加。在维修停堆期间，需严格限制空气进入系统，必要时实施氮气覆盖。

3.2.2.18 在反应堆停堆期间，慢化剂系统应遵守正常运行化学规范的要求，但以下情况除外：

（1）因停堆安全系统注入毒物，或反应堆处于保证停堆状态，或开展氘模拟试验，导致慢化剂中含有钆时；

(2) 正在吹扫覆盖气体时;

(3) 慢化剂排空操作时。

3.2.3 二回路化学控制

3.2.3.1 应着重关注二回路及辅助系统中易受腐蚀或腐蚀产物沉积显著影响的部件完整性。二回路、辅助系统及其化学控制的设计需尽可能减少腐蚀性杂质的侵入。

3.2.3.2 化学策略的选择应:

(1) 尽可能减少结构材料,特别是蒸汽发生器传热管的腐蚀,减少碳钢设备的流动加速腐蚀;

(2) 与二次侧材料相容;

(3) 减少蒸汽发生器给水中的腐蚀产物量,以尽量减少其在蒸汽发生器传热管外表面、传热管与管板之间、管支撑板和集管处的沉积;

(4) 考虑净化系统的净化能力;

(5) 尽可能减少向环境排放的化学污染物;

(6) 所选择的化学品应尽可能避免对工作人员造成不必要的健康风险。

3.2.3.3 二回路系统运行时,通过使用挥发性碱化剂,如氨和/或胺(如吗啉、乙醇胺、二甲胺)来获得高pH值。为了确保二回路系统各部分具备适宜的pH值,应规定并监测pH值。

3.2.3.4 必要时添加还原剂来去除水中的溶解氧,降低蒸汽发生器应力腐蚀开裂的敏感性。应对化学品的注入策略(包括注入点、速率、频率等)的有效性进行评估。

3.2.3.5 根据在线放射性测量值监测蒸汽发生器管道内一回路向二回路的泄漏率，并将其控制在规定限值内。限制一回路到二回路的泄漏率，以尽可能减少放射性废物（如流出物、树脂、过滤器、泥渣）的产生和放射性核素向环境的释放。

3.2.3.6 监测蒸汽发生器水中有害杂质（视情况监测氯化物、氟化物、硫酸盐、铅离子、铜离子、总悬浮固体、悬浮铁等）的含量，并将其控制在尽可能低的水平。在稳态运行期间，确定每种杂质或代表性指标（如阳离子电导率）的运行限值。

3.2.3.7 应定期评估化学参数对蒸汽发生器完整性的潜在影响，并对相关结果开展趋势分析。主要评估方法如下：

（1）评估蒸汽发生器传热管完整性的无损检测结果（在役检查），应尽可能评估与一回路和二回路化学控制相关的降级问题；

（2）按照规定的周期测量大修下行过程中“隐藏盐返回”，来估算缝隙和流动受限区域（如泥渣、沉积物）内的杂质含量水平；

（3）评估在大修期间从蒸汽发生器中清除的泥渣量；

（4）评估蒸汽发生器中可能引起堵塞的硬性沉积物量。

3.2.3.8 为降低腐蚀风险，应基于安全评估结果，在必要时实施高效的清洗程序以清除蒸汽发生器内部沉积物。宜通过严格的化学控制和/或采取材料选择与相容性等相关措施，避免实施去污操作。若确需进行去污时，应开展全面的安全评估。

3.2.3.9 为优化蒸汽发生器内部腐蚀产物的控制，宜评估

二回路水中分散剂化合物及成膜产品的应用情况，并记录评估结果。

3.2.3.10 应控制补水中的杂质浓度，确保其符合要求。

3.2.3.11 辅助系统应按照特定的化学工况运行，以尽可能减少腐蚀风险。

3.3 化学监测

3.3.1 化学部门应在核动力厂的相关文件和程序中，规定化学和放射化学监测活动的范围与频率，包括调试、运行状态（启动、停堆、在稳定功率水平下运行、大修）、瞬态工况、事故工况以及退役准备时。

3.3.2 在确定测量频率时，应综合考虑以下因素：参数的分级限值、构筑物、系统和设备的安全重要性、所测杂质的侵蚀性，以及核动力厂运行模式下相关响应行动时间的变化。

3.3.3 在确定所采用的分析方法时，应考虑所关注的化学参数的预期浓度水平。所选方法在预期的浓度范围内具备足够的灵敏度。应识别可能存在的“基体效应”（即样品中其他成分的影响），并在必要时予以校正。

3.3.4 应对化学参数的趋势进行跟踪并评估，以及时发现并消除不利影响。化学和放射化学测量应在核动力厂寿期的所有阶段开展，包括调试、启动和停堆阶段，以及系统长期停运期间或退役准备时。

3.3.5 化学和放射化学测量应：

（1）及时提供化学和放射化学结果，以确保核动力厂按

照规范要求运行；

- (2) 验证是否符合化学和放射化学的限值和条件；
- (3) 检测异常情况，并实施纠正措施；
- (4) 确保遵守排放限值。

3.3.6 用于计算化学参数的计算机程序应进行验证。

3.3.7 可采用在线测量方式来监测重要的控制参数。对于这些参数，化学部门需开展额外的独立验证。

3.3.8 核动力厂的文件应包括比较不同取样点的数据，或对同一取样点的不同参数测量值进行比较的要求（例如，相互比较蒸汽发生器排污系统中阳离子电导率和阴离子含量的测量值），以此评估测量数据的合理性。

3.3.9 在线和实验室分析程序应包括：

- (1) 描述程序的预期用途；
- (2) 列出用于制定程序的参考信息来源；
- (3) 提供所用方法的相关信息摘要，说明方法的准确性、线性度、适用范围、可能的干扰因素以及测量的精度；
- (4) 说明分析所需的设备、试剂和对照标准物质；
- (5) 提供分析和计算结果的逐步操作说明；
- (6) 明确质量控制要求；
- (7) 说明工业安全和辐射防护措施（如有）；
- (8) 提供仪表校准的信息；
- (9) 提供应对意外情况的指导；
- (10) 规定方法的检出限与定量限。

3.3.10 在投入使用前，应验证所使用的仪表、设备和方法。验证数据需妥善记录并存档，以便于检索和追溯。

3.3.11 应制定在线和实验室监测仪表的校准和维修程序，包括：

（1） 选择校准策略，确保校准点范围包括测量预期值，且校准点尽可能接近测量预期值。

（2） 根据设备制造商的规范以及核动力厂经验确定校准频率，定期开展校准工作。定期使用标准物质检查校准情况，标准物质的浓度宜接近预期测量值。

（3） 验证用于校准和质控的试剂及标准物质（如：所使用的对照标准物质可追溯到经认证的标准溶液或试剂）。校准和质控用的标准物质应由不同来源的参考材料制备，以避免出现系统性误差。

3.3.12 采用在线化学监测和数据采集系统对数据进行准确测量和记录，并对关键化学参数提供报警功能。分析仪表的量程范围应覆盖核动力厂的允许运行区间和安全限值范围。

3.3.13 应考虑测量位置的典型物理条件（如温度、压力、流量）。尽管部分仪表具备用于校准目的的温度补偿功能，但由于某些仪表的工作温度范围可能存在限制，仍需控制测量介质的温度。

3.3.14 应测量裂变产物的比活度，用以确认燃料的完整性，识别燃料包壳是否存在泄漏，并评估泄漏的严重程度。执行这些任务时需考虑：

- (1) 伽玛能谱仪应得到良好的维护和校准;
- (2) 确保裂变产物放射性测量具备足够的灵敏度, 以便尽早发现燃料泄漏;
- (3) 充分监测伴随出现裂变产物“尖峰现象”的功率瞬态;
- (4) 根据燃料的类型, 选择测量挥发性和非挥发性放射性核素, 以便能够检测出包壳缺陷;
- (5) 为在运行或停堆期间识别泄漏的燃料组件, 应根据反应堆的类型, 合理选择放射性核素活度比, 来评估泄漏燃料组件的燃耗;
- (6) 为了能够检测潜在的燃料泄漏, 可采用固定式在线分析仪监测一回路放射性活度。否则, 应确定适当的手动取样频率。

3.3.15 在乏燃料操作期间(例如在反应堆水池贮存、运输操作及临时贮存时)也需进行放射化学测量, 以监测燃料的完整性及燃料从反应堆移除后可能出现的缺陷扩展情况。这些测量与合理的取样安排属于识别泄漏燃料棒的流程的一部分。

3.3.16 在具备取样条件时, 可在不同的取样点测量一回路冷却剂中活化腐蚀产物的比活度, 以评估化学控制性能, 了解并尽可能减少放射性物质的迁移。

3.3.17 根据不同堆型, 可对其他放射性物质(如氩、钨、钠、钾、氯的放射性同位素)进行测量, 以提供低浓度异物侵入的早期预警。

3.3.18 宜使用放射化学方法评估其他测量技术无法监测的

屏障泄漏率，特别是在泄漏率极低时（例如，蒸汽发生器传热管泄漏或泄漏到中间冷却系统的情况）。

3.3.19 当净化系统运行的主要目的是去除放射性物质时，应通过放射化学测量来监测净化系统的性能。

3.3.20 在监测去污过程的效率时，需测量相关放射性核素的活度，特别是针对大型设备的去污工作，旨在优化处理时间并尽可能减少放射性废物的产生。监测工作应符合防护与安全的最优化原则和目标。

3.3.21 应采用放射化学方法对放射性废物进行特性表征，以指导其处理、整备和处置工作。对放射性废物进行特性表征时，需考虑以下因素：

（1） 建立有效且经验证的放射化学分析方法，用于测定难以测量的放射性核素（如纯 α 或 β 发射体、低能量 γ 发射体）活度。

（2） 对于各处置设施安全分析报告中明确规定的放射性核素，应在特定的废物流中反复测定其活度，以便积累充足的数据，进而建立难以测量的放射性核素与关键（参照）放射性核素之间的数学相关性（比例因子法）。

（3） 这种相关性用于对新产生的废物进行基于计算的特性表征，但应通过新的放射化学分析定期检查其正确性。

3.3.22 需依据不同活度水平所适用的测量方法，对放射性活度实施定期监测。氚与 ^{14}C 属于低能量的 β 发射体，应采用适用于 β 射线监测的测量方法对其释放进行监测。

3.3.23 一回路内或外表面放射性核素的测量，可通过在一回路的选定位置使用伽玛能谱仪测量，或采用擦拭取样、氧化层刮取或电化学取样等其他技术。所获取的数据应进行趋势分析，并结合化学和运行参数（如 pH_T 值和热功率）进行关联分析。

3.3.24 应在厂区内、其他场所或外部机构建立重要参数的冗余实验室分析能力，以确保在设计基准事故和设计扩展工况下均能随时提供分析服务。

3.3.25 针对重要化学与放射化学参数，应配置冗余的仪表及分析设备，以确保能够按照既定分析类型和频率开展检测工作。当分析任务外包时，化学部门应确保服务承包商等外部机构具备同等水平的冗余能力。

3.3.26 在涉及化学与放射化学的所有相关活动过程中，必须确保工业安全（包括采用通风柜通风、规范储存易燃溶剂与危险品、配置化学品及易燃物泄漏应急处置工具、设置安全淋浴设施、配备个人防护装备与急救箱）与辐射安全（包括安装辐射屏蔽装置及污染控制设施）。应依据相关行业标准，定期对通风柜进行检查。实验室操作必须严格遵循核动力厂程序及工业安全标准予以执行。

3.3.27 所有实验室的仪表与设备须持续维持良好状态，以确保向核动力厂提供准确且可靠的分析数据。应通过严格执行维护规程、实施定期校准计划及制定设备更新的长期规划，保障仪表与设备的运行可靠性。处于验证或维护阶段的仪表必须

设置清晰醒目的标识。

3.3.28 实验室应配备完善的安全保障措施、充足的空间以及必要的实验用品与设备。实验室工作区域及取样区域须保持整洁有序状态。上述区域的污染水平应符合核动力厂程序规定的限值要求。实验室内禁止饮食及吸烟，并须维持适宜的温湿度环境条件。

3.3.29 实验室应配备仪表操作程序、工作日志（如维护记录等）以及校准与质控记录。

3.3.30 针对相关参数，需通过实验室内部及实验室间比对试验，定期验证化学与放射化学测量的充分性与准确性，以识别潜在的分析干扰因素、校准偏差、分析技术选择或实施中的失误以及仪表操作问题。应对比对试验结果进行评估，综合考量偏差的短期与长期影响后，识别意外偏差的根源。必要时，应采取纠正措施以提升实验室的测量准确度。

3.3.31 若仪表性能出现明显异常，应立即开展调查以查明原因，并采取相应改进措施，以使测量质量恢复至应有的水平。

3.3.32 应通过适当冲洗取样管线、选择合适的样品流速、保持取样容器清洁无污染，以及避免取样过程中出现化学污染和溶解气体或挥发性物质损失的风险，来确保手动取样具有代表性。应编制关于取样流程的书面程序。

3.3.33 应全面考量取样过程中可能出现的延迟现象（例如因取样管线容积导致的液体样品延迟），并需着重关注获取可溶性及颗粒状腐蚀产物代表性样品时所涉及的具体取样问题。

3.3.34 应确保事故后取样系统在必要时可立即投入运行，以符合事故或应急程序的规定，采集包括一回路冷却剂、安全壳内地坑水及裂变产物气体在内的化学与放射化学样品。若该系统无法运行，则需采用其他方法进行监测与评估。

3.3.35 为开展事故后取样工作，应：

（1）制定事故后取样程序。

（2）为负责执行取样、将样品运送到实验室以及在实验室内开展测量工作的人员制定辐射防护措施。这些措施事先经过评估，并在事故后取样时予以实施（如对取样管线进行屏蔽）。

（3）制定预防性维修文件。

（4）定期检查事故后取样系统的可用性。

（5）对化学人员及相关人员开展事故后取样培训，并定期组织演练。

（6）确定需要监测的化学参数。

3.3.36 应急程序和设备应提供足够的取样和分析能力，提供关于化学品或放射性物质释放的必要信息。

3.3.37 应配置可测量高放射性活度事故后样品的检测装置，或采用适宜技术对样品实施精确稀释后，再进行测量。

3.4 辐射源项的化学优化

3.4.1 化学管理方面的优化有助于：

（1）持续降低核动力厂内的剂量率；

（2）减少放射性物质向环境的排放量；

(3) 减少放射性废物的产生量及其放射性水平。

3.4.2 应对不同的运行模式下重要放射化学参数的要求予以规定，以确保核动力厂所致的职业照射剂量和公众受照剂量符合剂量限值，并保持在可合理达到的尽量低水平。

3.4.3 为减少人员所受的辐射剂量，化学大纲应包括：

(1) 采用适当的化学控制方法，尽可能减少腐蚀产物的生成量和在堆芯内的沉积量，控制腐蚀产物在构筑物、系统和设备表面的迁移；

(2) 使用高品质的补给水，防止易活化的化学污染物和悬浮物进入回路；

(3) 有效使用一回路净化系统，去除溶解和悬浮的杂质；

(4) 对一回路冷却剂系统中使用的化学品进行质量控制，避免可能对构筑物、系统和设备产生不利影响或增加放射性水平的杂质进入。

3.4.4 在稳态运行期间，应确保一回路冷却剂化学参数保持稳定并处于最佳区间，以尽可能减少堆芯区域腐蚀产物的沉积。应重点关注停堆前的准备工作，制定净化方案，确保在换料大修期间能够对一回路冷却剂实施高效净化。

3.4.5 工程设计上应尽可能避免使用与一回路冷却剂接触的含钴 (^{59}Co)、银 (^{109}Ag)、锑 (^{121}Sb 、 ^{123}Sb) 等的材料，以降低 ^{60}Co 、 $^{110\text{m}}\text{Ag}$ 等引起的剂量率。反应堆设计时应在合理可行的情况下为系统和设备指定含钴低的金属材料。为了避免不必要的非放射性钴离子溶解到一回路冷却剂中，当技术上可

行时，在大型设备更换件或经过深度去污设备的表面暴露于运行环境之前对其进行预钝化处理。

3.4.6 在反应堆停堆期间，应通过净化系统及采取适宜的停堆化学管理策略，去除冷却剂中的易活化元素。化学控制措施应尽可能减少正常运行期间堆芯内的镍沉积，并在停堆期间有效溶解⁵⁸Co。因此，净化系统应维持高效运行状态，尤其在停堆期间，以确保能够有效去除水中的⁵⁸Co。

3.4.7 应尽量减少系统和设备中易活化元素的含量。在可行的情况下，考虑更换司太立合金和其他含钴硬质合金，以及含银和含锑材料。

3.4.8 在调试阶段，应在首次启动前对表面进行预钝化处理，以促进设备表面形成保护性氧化层，从而尽可能减少腐蚀产物的释放。此阶段所维持的化学工况，须与系统材料相容。

3.4.9 应核实预钝化的完成情况（如使用的化学品、持续时间、温度等验收准则）。在此阶段可考虑注锌等技术的应用。

3.4.10 应严格控制有害化学物质的浓度（如氧气、卤素元素及其腐蚀产物）与化学添加剂的添加量（如氢、碱金属、锌），以尽可能减少燃料包壳的劣化，并在职业照射与环境排放控制方面实现防护与安全的最优化。同时，应控制低溶解度物质的含量，减少包壳表面沉积物的积聚，从而降低燃料包壳缺陷的潜在风险。

3.4.11 在反应堆启动后的初始运行阶段，应测量一回路冷却剂中裂变产物的放射性水平，以确定用于趋势分析的参考本

底值。该值应被纳入放射化学相关文件，作为评估堆芯燃料元件泄漏或裂变产物污染的基准。

3.4.12 应将一回路冷却剂以及乏燃料水池中源于燃料的放射性核素比活度控制在规定值内。通过连续监测和/或定期取样的方式检查比活度，并对测量结果进行趋势分析和评估，以识别潜在的燃料包壳缺陷。

3.4.13 营运单位应明确冷却剂中裂变产物比活度限值的要求。当裂变产物比活度超出限值时，机组应停止负荷跟踪。若出现明显的燃料破损时，营运单位应在规定时间内执行相应措施，移除存在破损的燃料组件。裂变产物比活度限值应有明确的核动力厂安全分析依据。

3.4.14 必要时，应针对不同的应用需求来开发并验证核动力厂去污程序（如采用化学、电化学、机械技术）。在选择去污技术时，应考虑其对材料的长期影响，尽可能降低再污染率以及放射性废物的产生量。在合理可行的范围内，应尽量减少在核动力厂实施去污处理的需求。

3.4.15 化学去污后，应通过优化的化学控制措施尽可能降低核动力厂的职业剂量。应通过降低源项的方式减少系统表面的再污染。

3.4.16 一回路应避免过度使用化学去污，以防对金属材料基体造成损伤。对较大的一回路设备或整个系统进行化学去污后，应对系统表面进行冲洗和/或再钝化处理。通过对冷却剂进行净化去除腐蚀产物，以避免腐蚀产物在燃料表面大量沉积，

增加燃料包壳缺陷和潜在功率偏移的风险。

3.4.17 运行程序和化学控制方法应确保尽可能减少放射性废物的产生，不仅要降低放射性活度和总量，还要考虑到对工作人员的剂量影响和向环境的排放情况。

3.4.18 为了尽量降低流出物活度，营运单位宜：

（1）对一回路系统中的泄漏进行监测，并迅速识别，及时采取纠正措施；

（2）优化放射性废液的处理流程，减少潜在的流出物收集量；

（3）隔离不同来源的液体，防止化学性质不相容且活度水平存在显著差异的液体相互稀释或混合；

（4）在可能和合理的情况下，减少化学品的消耗并进行合理回收（特别是硼酸）；

（5）实施适当的化学控制，防止一次侧冷却剂向二次侧泄漏；

（6）将引入系统的气体（不包含主动向一回路添加的气体）减少到可行的最小量；

（7）使用离子交换树脂或选择性吸附剂；

（8）使用过滤器从液体中分离放射性悬浮物；

（9）使用滞留箱或其他滞留系统（如活性炭床），使放射性物质在排放至环境前充分衰变；

（10）使用有效的过滤器从流出物中去除气溶胶；

（11）根据设计情况，采用气体减容系统（如复合器、

吸收器、蒸汽回收系统、加压储存系统），或者气体滞留系统；

（12）优化流出物源项管理，以尽可能减少流出物的产生，降低职业照射和公众照射的剂量。

3.4.19 核动力厂运行中产生的流出物排放限值应获得监管机构的批准。营运单位应对预期的源项和公众受照剂量进行评估。

3.4.20 营运单位应确保流出物在转存到贮存箱后，经分析检测并确认达标后方可排放，应统计流出物的排放总量，并评估其对环境的总体影响。

3.4.21 营运单位应制定程序，用以实施环境和污染物监测，对流出物排放进行管控，并核实是否符合排放限值要求。

3.4.22 新建核动力厂应借鉴同类核动力厂以往在材料选择和设备选型方面的经验，并通过一回路化学管理，尽可能降低核动力厂运行期间和退役准备时的源项。

3.4.23 应实施适当的化学控制，尽可能减少因冷却剂丧失事故而导致碘放射性核素释放到安全壳所造成的后果。

3.5 化学品和其他物品的质量控制

3.5.1 营运单位负责选用合规化学品，并确保其质量符合相关标准要求。

3.5.2 营运单位应制定政策，禁止在核动力厂构筑物、系统和设备中使用未经批准的化学品或其他物品。在相关管理程序中明确规定现场化学品和其他物品的归口管理责任。

3.5.3 营运单位应依据核动力厂相关程序，对厂区内使用

的化学品和其他物品实施管控，包括承包商带入的化学品和其他物品。

3.5.4 营运单位应制定化学品和其他物品清单，并确保相关人员可随时调阅该清单。

3.5.5 若化学品和其他物品中所含腐蚀性杂质超出规定限值，或可能增加构筑物、系统与设备表面的放射性污染水平，则不得在化学大纲适用范围内的构筑物、系统及设备中使用。若确需使用此类化学品和其他物品，则须在批准使用前进行风险评估，并将评估结果文档化。

3.5.6 营运单位应制定化学品和其他物品（包括危险化学品等）的采购、储存、更换等程序。此类程序应符合国家法规的规定。

3.5.7 营运单位在使用与机组运行相关的化学品（如硼酸，离子交换树脂，柴油）之前，应通过抽样分析或查验报告等方式来确保其符合要求。

3.5.8 营运单位应按照程序对化学品进行标记（即配置化学品标签），以便确认相关部门已获批准在特定区域或系统设备中使用。储存区域内的化学品和其他物品应附有标明材料保质期的标签。

3.5.9 当化学品从原装容器转移至分装容器时，应在分装容器上张贴标签，标签应标注化学品名称、分装日期，以及用于指示风险的危险性分类和应用区域的信息（如象形图）。分装容器中的化学品和物品不应再转移回原装容器。

3.5.10 在储存化学品时，应考虑原装容器开封后化学品的保质期会有所缩短的情况。密封的原装容器开封后，应记录开封日期。对于非密封和部分排空容器内的化学品，应采用能保证剩余产品满足使用要求的方式进行储存。定期检查已开封原装容器中的化学品质量，或在使用前进行检查。化学品和其他物品的残留物应按照核动力厂的程序进行处置。

3.5.11 营运单位应尽可能减少核动力厂内新增化学品和其他物品的数量。在考虑人员安全、环境保护以及材料相容性的前提下，鼓励采用无害的化学品或其他物品替代有害的化学品或其他物品。

3.5.12 参与化学品和其他物品接收、储存、运输和使用的人员应接受培训，以掌握储存相容性、标识、操作处理及相关安全要求。

3.5.13 营运单位应定期对化学品和其他物品管控的有效性进行评估，并检查化学品和物品的储存措施是否存在不足。

3.5.14 所有获得批准的化学品和其他物品的安全技术说明书，应符合相关国家法规的要求。应可供现场人员查阅使用，且易于获取（如通过电子数据库）。

3.5.15 化学品和其他物品的储存条件应符合其安全与质量要求，同时应具备防溢出或导流措施，以防止或减轻其溢出后对环境造成的影响。危险化学品的存放区域应配置相应的安全与应急用品或装置，并制定废物处置程序。不同危险属性的化学品在存放时，应满足存放禁忌的规定。少量经批准且有正确

标签的化学品，可存放在其他受控环境中。

4 化学数据的管理

4.1 应准确记录在线测量、手动取样和质量控制测量的结果（如实验室日志、计算机记录、数据表、定期在线测量结果的数据库等）。若有必要，需为结果提供必要的补充信息，以便对其进行解释、评估和交流。

4.2 与化学相关的数据应根据化学部门的文件规定以及质量保证大纲的要求，在数据库中进行存档、存储，且易于检索。应采取适当的安全防护措施保护数据库，仅授权人员方可访问。若需对已存储的数据进行修改，这些修改及其理由应具备可追溯性。

4.3 应审查分析数据，验证其完整性、准确性和一致性。为确定化学参数的实际和潜在偏差，应在数据记录完成后立即评估。根据偏差的重要性和潜在后果，化学人员需按照核动力厂的程序通知相关运行人员。

4.4 化学分析结果中的重大偏差，应主动报告给相应的管理人员。当分析数据表明需要立即采取纠正行动时，应与其他相关部门建立有效的沟通机制。

4.5 若测量结果出现偏差或异常情况，应由合格的化学人员进行检查和核实，及时采取纠正措施并做好记录。

4.6 化学人员应承担审查化学数据的主要责任。化学人员应将当前数据与历史数据进行对比，并调查结果超出现有系统

运行条件期望范围的原因。

4.7 化学数据的变化趋势应与运行参数进行关联分析，如热功率和化学品注入速率的变化情况。

4.8 应将数据与运行限值进行比较，对与安全直接相关的化学数据开展评价和趋势分析，以评估化学控制的有效性，识别分析数据的不一致性以及化学工况的不利趋势。

4.9 记录数据后应及时审查趋势，以便在参数超出化学限值之前确定可能需要实施纠正措施的问题。应使用化学期望值来分析接近化学限值或有异常趋势的参数，为控制限值预留一定的裕量。趋势分析还应用于评估由核动力厂运行变化引起的化学参数的短时瞬态变化，以及稳态运行期间出现的缓慢的长期变化。

5 培训和资格

5.1 营运单位应明确规定每个岗位的资格要求，以确保化学人员具备相应资质。

5.2 所有化学相关工作均应由获得授权的化学人员执行。

5.3 营运单位应对化学人员开展系统化的培训，所采用的培训设施和方法应能有效实现培训目标。

5.4 营运单位应为核动力厂的化学人员及相关人员制定和实施基础化学培训，同时为化学人员开展初始培训、继续培训和再培训。

5.5 化学人员的初始培训应包含化学大纲、化学控制及化

学测量等领域的相关岗位培训（例如，根据实际情况开展安全分析报告中的化学要求、实验室工作、取样操作、实验室及储存区内的化学品规范、运行系统中化学品加药知识等方面的培训）。

5.6 营运单位应依据化学人员的工作授权，实施常规任务的继续培训。培训内容应涵盖机组启动、正常运行、停堆、最常见瞬态工况及应急等场景下的各类专项化学活动。针对不常执行的任务，也应考虑进行定期的再培训（例如，事故后取样系统的操作等）。

5.7 岗位培训宜在实验室、车间或开展其他化学活动的场所实施。岗位培训应根据相关运行规程开展，包括取样、使用在线化学设备、修复在线和离线设备的缺陷、对在线仪表和实验室设备进行定期维护，以及使用事故后取样系统。

5.8 培训活动应包括识别取样期间的异常情况、辐射防护要求、测量设备故障以及掌握测量结果的趋势分析技术。

5.9 核动力厂的化学人员应接受足够的理论培训，以便与运行人员有效沟通并提供支持。理论培训应包括化学工况、化学控制、化学测量、不同运行状态下的化学变化对核动力厂安全的潜在影响及其依据。

5.10 实验室负责人即使不负责执行相关日常任务，也应熟悉化学人员所使用的设备，并了解其操作方法。

5.11 核动力厂采用新技术和新分析方法之前，应组织开展培训并及时升版培训程序。

5.12 核动力厂化学品管理、使用以及安全监督岗位人员应接受以下特定领域的培训：

- (1) 化学品的分类、标签与包装；
- (2) 化学品的储存、处理和处置；
- (3) 化学品安全技术说明书的使用；
- (4) 个人防护装备的使用与维护；
- (5) 现场应急防护装置的使用。

5.13 化学人员的培训内容还包括核安全、辐射安全及工业安全领域的相关要求。

5.14 化学人员应参加模拟化学品或放射性物质泄漏的培训活动或应急演练。在培训与演习过程中，应使用应急规程和应急设备，以确保化学人员能够正确响应。

5.15 营运单位应当定期组织化学人员培训事故后不同取样路径，熟练掌握通往事故取样点的各条备用路径，以便在事故工况下常规路线无法通行时，仍能有效执行取样任务。

名词解释

控制参数

控制参数是指必须严格控制的化学参数与放射化学参数。控制参数若超出规定范围，将对材料完整性、燃料包壳腐蚀及燃料设计性能造成不利影响，或者对反应性控制、辐射场及环境安全具有直接影响。

诊断参数

诊断参数是指用于辅助识别影响辐射场、材料完整性以及燃料设计性能而进行监测的化学指标。诊断参数本身不限制核动力厂运行，但有助于化学人员理解系统化学工况的变化。

化学限值

化学限值是指针对化学与放射化学参数所设定的必须严格遵守的阈值。若该限值被超出，可能直接引发事故性后果，或致使设备材料发生损伤或功能失效。

分级限值

分级限值是指针对特定控制参数所设定的多级数值限制。倘若超过某一分级限值，则须于规定时限内逐步采取纠正措施，并在必要时依据程序有序执行停机或停堆操作。

化学期望值

化学期望值是指为保障构筑物、系统和设备长期安全可靠运行，化学参数与放射化学参数应当达成的目标运行值。并非所有参数都设定期望值，已设定的期望值可依据实际化学控制

情况予以调整或补充。

化学品

化学品是指核动力厂运行过程中，在相关系统和设备中使用的、可能对系统水质控制或系统设备腐蚀产生直接或间接影响的各类化学物质，主要包括实验室化学试剂、工艺系统化学品和化学辅助材料三大类。

其他物品

其他物品是指除核动力厂所界定的化学品（见化学品定义）之外，在核动力厂运行过程中，在相关系统与设备内所使用的、可能对系统水质控制或系统设备腐蚀构成直接或间接影响的各类辅助化学物质或材料。