国际原子能机构安全标准

保 护 人 类 与 环 境

水冷堆核电厂化学计划

特定安全导则

第 SSG-13 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

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。

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。

水冷堆核电厂化学计划

国际原子能机构成员国

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

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-13 号

水冷堆核电厂化学计划

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内容。请见 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 8 月 · 奥地利

水冷堆核电厂化学计划

国际原子能机构，奥地利，2024 年 8 月
STI/PUB/1469
ISBN 978-92-0-534223-8（简装书：碱性纸）
978-92-0-534123-1（pdf 格式）
ISSN 1020-5853

前　言

国际原子能机构（原子能机构）《规约》授权原子能机构“制定或采取旨在保护健康及尽量减少对生命与财产的危险的安全标准”。这些标准是原子能机构在其本身的工作中必须使用而且各国通过其对核安全和辐射安全的监管规定能够适用的标准。原子能机构与联合国主管机关及有关专门机构协商进行这一工作。定期得到审查的一整套高质量标准是稳定和可持续的全球安全制度的一个关键要素，而原子能机构在这些标准的适用方面提供的援助亦是如此。

原子能机构于 1958 年开始实施安全标准计划。对质量、目的适宜性和持续改进的强调导致原子能机构标准在世界范围内得到了广泛使用。《安全标准丛书》现包括统一的《基本安全原则》。《基本安全原则》代表着国际上对于高水平防护和安全必须由哪些要素构成所形成的共识。在安全标准委员会的大力支持下，原子能机构正在努力促进全球对其标准的认可和使用。

标准只有在实践中加以适当应用才能有效。原子能机构的安全服务涵盖设计安全、选址安全、工程安全、运行安全、辐射安全、放射性物质的安全运输和放射性废物的安全管理以及政府组织、监管事项和组织中的安全文化。这些安全服务有助于成员国适用这些标准，并有助于共享宝贵经验和真知灼见。

监管安全是一项国家责任。目前，许多国家已经决定采用原子能机构的标准，以便在其国家规章中使用。对各种国际安全公约缔约国而言，原子能机构的标准提供了确保有效履行这些公约所规定之义务的一致和可靠的手段。世界各地的监管机构和营运者也适用这些标准，以加强核电生产领域的安全以及医学、工业、农业和研究领域核应用的安全。

安全本身不是目的，而是当前和今后实现保护所有国家的人民和环境的目标的一个先决条件。必须评定和控制与电离辐射相关的危险，同时杜绝不当限制核能对公平和可持续发展的贡献。世界各国政府、监管机构和营运者都必须确保有益、安全和合乎道德地利用核材料和辐射源。原子能机构的安全标准即旨在促进实现这一要求，因此，我鼓励所有成员国都采用这些标准。

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遵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[1]具有保护生命和健康以及保护环境的共同目的。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）。

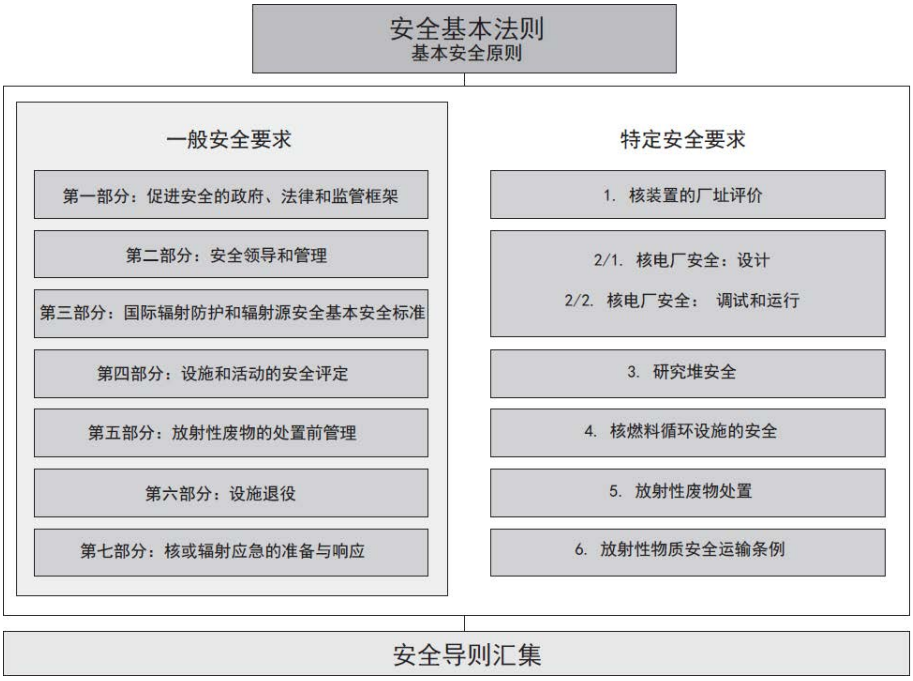

图 1. 国际原子能机构《安全标准丛书》的长期结构。

[1] 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。

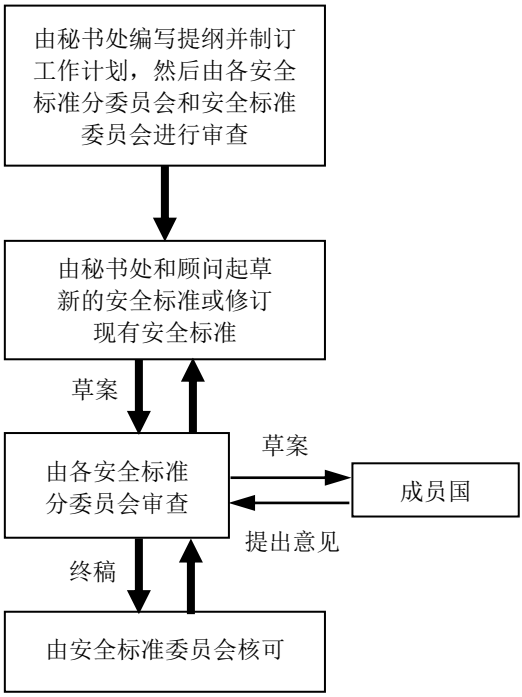

图 2.　制订新安全标准或修订现行标准的过程。

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

1. 导言 1

背景 (1.1-1.4) 1
目的 (1.5) 1
范围 (1.6-1.8) 1
结构 (1.9) 2

2. 职能、职责和接口 2

营运组织 (2.1-2.13) 2
承包商 (2.14-2.17) 4
其他组织，包括设计单位和制造商 (2.18-2.20) 4
接口控制 (2.21-2.24) 5

3. 化学计划 (3.1-3.4) 5

4. 化学控制 (4.1-4.13) 7

沸水堆电厂的水化学控制 (4.14-4.20) 9
石墨慢化堆核电厂的水化学控制 (4.21-4.25) 10
压水堆和 WWER 电厂的一回路水化学控制 (4.26-4.31) 10
PHWR 电厂的一回路和慢化剂水化学控制 (4.32-4.41) 11
压水堆、WWER 和 PHWR 电厂的二回路水化学控制 (4.42-4.49) 12

5. 辐射照射最优化的化学方面 (5.1) 13

职业辐射照射源和环境排放 (5.2-5.8) 14
预防、职业辐射照射最优化和环境排放的系统及措施 (5.9-5.21) 15
去污过程 (5.22-5.24) 17
尽量减少液态和气态放射性废物的产生和排放 (5.25-5.27) 17

6. 化学监视 (6.1-6.7) 18

化学监控 (6.8-6.19) 19
放射性化学 (6.20-6.29) 21
化学设施及设备 (6.30-6.42) 23
事故后采样系统 (6.43-6.44) 24

7. 化学数据管理 (7.1-7.10) 25

8. 培训和资格 (8.1-8.14) 26

9. 化学品和其他物质的质量控制 (9.1-9.18) 28

参考文献 31

参与起草和审订人员 33
国际原子能机构安全标准核可机构 35

1. 导言

背景

1.1. 本“安全导则”涵盖所有类型的水冷堆核电厂，并支持原子能机构“安全要求”出版物《核电厂安全：调试和运行》[1]。

1.2. 化学计划对核电厂的安全运行是必不可少的。根据设计假设和意图，确保安全重要主要电厂结构、系统和部件[2]完整性、可靠性和可用性。化学计划尽量减少化学杂质和腐蚀对电厂结构、系统和设备的有害影响。它支持尽量减少放射性物质的积聚和职业照射，以及限制化学品和放射性物质向环境的排放。

1.3. 本“安全导则”旨在帮助电厂工作人员在高水平上保持现有化学计划的质量，并确定改进的机会。它也可以用来制订新的化学计划，以及协助制订纠正行动，以消除目前计划中已知的弱点。

1.4. 本“安全导则”也适用于营运组织中负责监督电厂化学计划的管理者和监管机构。

目的

1.5. 本“安全导则”的目的是根据目前国际化学计划的最佳实践，向会员国提供帮助，以确保核电厂的安全运行。其目的还在于为支持针对零件可能腐蚀的各种屏障的完整性、电厂的职业辐射照射最优化 [1] 和限制放射性物质和化学品向环境排放提供建议。

范围

1.6. 本“安全导则”向成员国提供化学活动的建议和指导，以确保安全重要结构、系统和部件能够按照设计假设和意图履行其功能。

---

[1] 防护（和安全）最优化的过程是确定什么样的防护和安全水平使照射以及潜在照射的概率和大小“在合理可实现的范围内，并考虑经济和社会因素”（ALARA）[3]。

1.7. 本“安全导则”涉及电厂化学计划中针对各类水冷反应堆的主要活动，包含化学和放射化学监控的建议，以确保遵守相关电厂运行限值和条件，并对电厂化学计划的有效性进行适当评价。

1.8. 本“安全导则”不提供相关核电厂特定化学系统的详细技术建议。这些细节见原子能机构技术文件，例如参考文献[4] [2]。

结构

1.9. 第 2 部分就化学计划中所牵涉各组织的职能和责任以及它们之间的接口提出建议；第 3 部分给出关于化学计划的一般建议；第 4 部分提供化学控制过程的建议；第 5 部分是关于化学方面辐射照射最优化的建议；第 6 部分讨论化学监视和放射化学监视过程；第 7 部分就化学数据的管理提出建议；第 8 部分就参与化学活动人员的培训和资质要求提出建议；第 9 部分关于化学品和其他物质质量控制的建议。

2. 职能、职责和接口

营运组织

2.1. 营运组织须制定及推行化学计划，以加强电厂及工作人员的安全、限制环境排放及提高电厂的可靠性，方法如下：

(a) 维护安全重要结构、系统和部件的完整性；

(b) 尽量减少放射性物质的积聚，以减少核电厂的剂量率，从而减少对工作人员的辐射剂量，减少化学和放射性废物的放射性活度，并减少任何计划向环境排放放射性物质的放射性活度；

(c) 保持燃料安全屏障的完整性；

(d) 控制可溶性毒物的使用。

---

[2] 为 WWER 核电厂制定水化学导则的报告正在编写中，以作为原子能机构《核能丛书》的一部分。

2.2. 营运组织的组织机构应该为核电厂提供足够的化学管理[5]。

2.3. 营运组织应为化学计划设定具有挑战性的目标。应清楚说明管理层对在电厂实施该计划的期望。化学人员应理解、支持和实施该计划。应利用对化学计划执行结果的反馈来提高化学计划和化学系统的质量。

2.4. 应分析来自其电力公司和各国的信息（例如关于运行经验、研究结果、良好实践和标准的适当反馈），将有益的资料纳入化学计划。这些信息应提供给化学工作组并适当保持最新。

2.5. 应制订化学计划的绩效指标，以监控各项目标的实现情况，并推行和告知工作人员。管理层应定期强化其预期、监控和评定绩效并纠正偏差。

2.6. 营运组织应该确保安全重要结构、系统和部件实施化学计划情况下，这些结构、系统或部件的可靠性和功能在电厂运行寿期内仍遵守其设计假设和意图。

2.7. 营运组织应同时参考本“化学计划”和适当标准的要求，提供充裕的场地、足够的取样和实验室设备（包括实验室仪器仪表和在线仪器仪表），以及大力支持“检测方法论”的研发。

2.8. 营运组织应提供足够的资源，包括所需各层级化学人员的人数和资格，例如化学人员、主管和管理人员以及技术支持工作人员。考虑到电厂的长期运行，化学组织的人员应该建立持续改进的计划。

2.9. 营运组织的管理层应通过化学设施巡视和电厂化学设备检查，定期对化学计划的活动进行评价。负责化学计划活动的管理者应监控能够反映形成强大安全文化的工作人员行为和态度的指标（例如适当注意警报、及时报告故障、尽量减少逾期维护的积压、足够的标牌、准确的数据记录）。

2.10. 经理和主管应定期观察化学活动，以确保电厂的政策和程序得到遵守。维护和改造后应进行系统化和全面的试验，以确保设备和系统准备好恢复运行。应对化学绩效指标进行趋势跟踪，必要时应采取预防和/或纠正措施。

2.11. 电厂自评定计划应包括化学领域。此外，自评定计划应包括参加公认的分析认证和相互比对计划。应定期对化学计划进行监查并开展其他自评定及独立评审。应报告不符合项，定期评价纠正措施的状态[6]。

2.12. 管理层应确保任何缩短计划停堆时间和加快电厂启动的措施，都不会影响化学控制程序的全面应用，例如，“启停阶段的水清洗和设备的干或湿保养”行动应给与足够的重视。

2.13. 根据参考文献[7]要求，核电厂应该对所有化学活动有明确的职责分工和要求。这些化学活动包括资源管理、化学控制、剂量管理、化学和放射化学监视、化学和放射化学数据管理、水分析化学、放射性活度测量、分析结果的评审和员工培训和授权。

承包商

2.14. 营运组织应确保化学领域工作的承包商建立有效的组织机构。营运组织可将实施化学计划或其中一部分的任务委托给其他组织，但营运组织仍对委托任务承担总体责任[7]。

2.15. 营运组织应提供承包商所需的所有信息，并应确保承包商理解安全重要指令。

2.16. 承包商应遵守与电厂工作人员同样的标准，特别是在所需的化学技巧和能力、遵守程序、结果报告、安全文化和绩效评价方面。关于承包商管理的进一步建议见参考文献[2]。

2.17. 电厂的管理人员应对电厂承包商承担的所有任务负责。

其他组织，包括设计单位和制造商

2.18. 营运组织应与具备化学相关实验室活动、设计、制造、工程和研究能力的组织保持长期接触。可能需要作出特别的商业安排，以确保长期不断地获得这种资源。在购买设备时，营运组织应确保对化学仪器仪表的类型及其用途有明确的了解。

2.19. 当发生设备缺陷或需要进行改造时，应根据需要寻求设计单位或制造商或具有足够知识的其他组织提供有效和及时的协助。营运组织应向这些组织提供化学数据。另一方面，关于可能影响化学计划的组织机构或结构、系统和设备的变化，应提请化学计划管理层注意设备，以便在必要时征求其建议、意见或批准。应通过清楚明确的指示确定这种信息的范围。

2.20. 水化学监视计划相关的安全系统和安全相关系统的要求和标准，应与设备和燃料的设计单位和制造商达成一致。

接口控制

2.21. 对于所有的化学活动，应落实有效的接口控制系统。应对参与化学活动的所有组织之间的职责分工有明确的认识。化学人员应该清楚地了解自己的权限和职责以及与其他组织的接口。

2.22. 应在化学组织和其他组织（运行、维护、仪控、技术支持）之间建立合适的接口，确保及时对化学系统和设备实施必要修理，并将维护积压的数量控制在最低限度。

2.23. 应定期编写关于水化学和放射化学参数的报告，并与营运组织的其他领域和相关外部组织分享。报告应包括安全系统和安全相关系统的水化学分析、放射性活度测量结果、参数趋势、偏差和纠正措施的分析及其可能的后果，以及实验室绩效的质量监查概况。

2.24. 应在营运组织与外部组织，如大学、研究机构、设备和化学品供应商以及监管机构之间建立与化学相关问题的接口。参考文献[5]第 4 部分提供了关于与外部组织的接口的进一步建议。

3. 化学计划

3.1. 化学计划应提供相关化学和放射化学的信息和支持，以确保安全运行、结构、系统和部件的长期完整性、尽量减少放射性物质的积聚和限制向环境排放放射性和化学物质。

3.2. 应明确营运组织建立和实施化学计划的主人翁意识和责任，并传达给电厂人员。根据营运组织的公司或组织机构，可以以各种方式组织化学计划的实施。例如，在许多核电厂中，化学和放射化学活动包括环境监控，特别是由一组工作人员执行与化学计划和辐射防护相关的活动。

3.3. 化学计划应包括化学系统的选择、监控和分析程序、涉及化学过程的操作指令和对运行数据的评价、化学参数的运行和参考限值，以及行动水平和可能的补救行动[1、8]。在化学系统中应考虑运行经验的反馈。

3.4. 在化学计划中应确保：

(a) 存在合适的化学系统，并符合原始设计和材料意图，并考虑到电厂或其他电厂的任何结构改造或运行经验。

(b) 妥当选择一回路水化学系统，并考虑到对下列因素的潜在影响：(i) 回路材料的均匀腐蚀和应力腐蚀开裂；(ii) 燃料包壳腐蚀；(iii) 腐蚀产物的活化和迁移；(iv) 剂量率；(v) 积垢导致的功率偏移和 (vi) 积垢导致的局部腐蚀。

(c) 二回路侧化学计划的目标是尽量减少 (i) 综合系统腐蚀；(ii) 蒸汽发生器中的积聚；(iii) 有害化合物在流动滞留区域的缝隙中浓缩；以及 (iv) 在凝汽器的气侧和水侧部位的泄漏，并旨在提高蒸汽发生器排污净化系统和凝结水精处理系统（如果使用）的有效性。

(d) 辅助系统的化学计划应符合材料的防腐蚀性能，以保持它们的完整和可用性。

(e) 采用适当的化学控制和诊断参数，核实系统的安全可靠运行。

(f) 及时将评价结果报告给负责的管理层和其他用户（运行人员、维护人员、系统工程组织、技术支持组织等）。

(g) 对任何偏离正常运行状态的偏差，如化学参数的小缺陷、不良趋势或快速瞬变，及时作出响应予以纠正。

(h) 使用偏差诊断和纠正方法，并保持最新。

(i) 定期视察、标定、维护在线测量仪器仪表和实验室设备并保持最新。

(j) 化学部门工作人员为维持安全设备的可用性作出充分的贡献（例如通过分析安全水箱、柴油及主泵油）。

(k) 支持电厂老化管理计划，以确保电厂安全及长期运行。

(l) 水化学计划中就包含有良好实践，符合规范标准并与国际公认的良好实践一致。

(m) 已实施程序和实践，以确保水净化系统和取样系统有效运行。

(n) 已知道水系统中杂质的来源，并已采取行动尽量减少这些来源。

(o) 充足、可靠的化学参数在线测量系统和实验室系统处于正常运行状态。

(p) 利用现代分析方法对污染物进行充分的分析，即使化学参数在规定的范围内。

(q) 严禁使用可能对设备完整性产生不利影响的物质和试剂。

(r) 向环境排放放射性物质和化学污染物采用合理可行尽量低原则，化学、系统或设备的任何变化对放射性排放的影响都得到充分和准确的分析和充分的了解（例如氚和碳-14 的产生）。

(s) 危害化学品得到妥善管理并有一套物质安全数据表（见第 9.14 段）可用。

(t) 提供了充分的支持，以识别和表征核电厂产生的放射性废物（包括去污产生的废物）。

(u) 定期监控污水坑和排水渠的放射性水平。

4. 化学控制

4.1. 化学控制包括在安全系统和安全相关系统中正确应用合适的化学系统。合适的化学系统将取决于系统及其结构材料的设计。

4.2. 为了实现充分的化学控制，化学组织应对一回路、二回路和其他重要的安全和冷却系统的各个区域采用分级方法。

4.3. 所选择的控制参数，应是最重要的化学参数，涵盖需监控的化学管理范围和出现、存在的有害杂质。除控制数值外，化学人员还可以规定期望值供内部使用，以避免化学参数无意中超过其限值。

4.4. 如果控制参数超出其限值，从长远来看，结构、系统和部件的状态可能发生退化，并可能导致安全系统不可用。因此，应为控制参数事先规定分级行动水平，如果偏离这些水平，应在可接受的时间内逐步采取纠正行动，必要时应继续采取进一步的纠正行动，直至电厂关闭。

4.5. 此外，还应定义诊断参数。这些诊断参数进一步提供了电厂的化学状态信息，有助于查明化学系统中出现偏差的原因。

4.6. 应使用化学控制计划，从记录中确认化学控制参数和诊断参数保持在规定的范围内。应控制和评审化学控制计划的记录，并根据营运组织的管理系统分析偏差。

4.7. 化学组织应规定如下工况中运行和安全系统的化学参数和条件的限值：

(a) 调试；
(b) 启动；
(c) 正常运行；
(d) 瞬态；
(e) 停堆；
(f) 大修；
(g) 备用；
(h) 退役。

不应超出参数的限值；如果参数超过其限值，则应采取适当措施在指定时间内恢复其正常运行值。

4.8. 应控制结构材料的腐蚀速率和第三系统中微生物生长和微生物诱导腐蚀的风险，特别是有带冷却塔的半封闭冷却系统。风险取决于水的特征、材料、回路设计和温度。这种微生物的生长可能会影响与回路接触的电厂员工，以及与冷却塔排放水或喷雾接触的人群。因此，在决定是否添加含氯的杀生物剂以及以何种浓度或是否采用其他技术时，应考虑到这一风险。

4.9. 应严格监控和适当维护装有气体的储罐和不通风的空间，以防氧气和氢气同时积聚而引起爆炸。对任何液体罐，如果辐射分解可能导致爆炸性气体混合物的存在，也应进行这种监控。

4.10. 燃料完整性监视计划应包括适当的程序，以确保对反映燃料完整性的化学和放射化学数据进行系统性趋势分析并加以评价，以发现异常行为[9]。

4.11. 包含液态中子吸收剂（硼酸箱、安全壳喷淋灭火系统、泡沫栈，含钆池）的能动和非能动安全系统的水化学系统应符合设计标准，考虑到这

一事实，即一般只会在规定时间不定期修正这些水池内的液态化学品（例如在换料停堆）。

4.12. 在大修期间，应根据停堆时间和安全要求，通过化学品或氮气的方式，使设备保持充分保养状态（例如，干式保养、高 pH 值的湿式保养或正常运行的水条件下）。应监控保养相关参数，并对偏差采取纠正措施。

4.13. 应充分控制和监控添加到冷却系统的化学缓蚀剂的浓度。应控制能够指示适当处理和杂质存在的化学参数，以尽量减少系统的腐蚀和完整性的丧失。

沸水堆电厂的水化学控制

4.14. 在运行过程中，沸水堆电厂的化学控制计划应注重将反应堆冷却剂中的杂质降至最低可实现水平，以避免或尽量减少晶间应力腐蚀开裂并降低辐射水平。

4.15. 可注射某些药剂以避免或尽量减少晶间应力腐蚀开裂。这些药剂的浓度应根据相关测量结果加以控制。

4.16. 溶解的氢气、氧气水平以及杂质水平（如腐蚀产物、氯化物、硫酸盐和氟化物）应维持在规定限值内。

4.17. 应充分控制反应堆冷却剂中电导率、氯化物和硫酸盐的浓度。应充分控制给水系统中铁和铜的浓度（在有含铜部件的情况下）。

4.18. 在停堆前，在可能的情况下，应尽可能提高反应堆水净化系统的流量，以尽量减少反应堆水中的活化腐蚀产物。

4.19. 应尽量减少反应堆水的放射性活度以及放射性物质的积聚和迁移。为此，正常运行期间，或许可以向（一回路）给水中注入锌和铁离子。

4.20. 在启动过程中，应充分控制氧浓度并保持在足够低的水平，以尽量减少晶间应力腐蚀开裂。

石墨慢化堆核电厂的水化学控制

4.21. 对于俄罗斯建造的石墨慢化堆（RBMK）核电厂，应采用中性水化学系统，不使用任何酸或碱。应通过使用高纯度的给水和有效的净化系统（用于凝结水和反应堆冷却剂）来实现水化学。

4.22. 在石墨慢化核电厂化学控制计划中，应确保：

(a) 在换热表面和管道上积聚最少；

(b) 主汽水回路材料的腐蚀和腐蚀侵蚀（如晶间应力腐蚀开裂、流动加速腐蚀）最少；

(c) 高品质饱和蒸汽，不会在汽轮机的蒸汽流道上形成水滴，进而保证了良好的水质和分离。

4.23. 化学参数水平应保持在规定的限值内。

4.24. 溶解的氢气和氧气浓度应维持在规定的限值内。氧气的浓度应保持在尽可能低的水平以降低腐蚀风险。

4.25. 为尽量降低表面积聚物中锆-95 等活化腐蚀产物水平，应在停堆开始时对一回路进行冲洗（清洗）。冲洗可以在没有特殊试剂的情况下进行，也可以使用组合程序（试剂和非试剂）进行。

压水堆和 WWER 电厂的一回路水化学控制

4.26. 应持续测量反应堆冷却剂系统中用于控制堆芯反应性的溶解硼-10 和硼酸的浓度变化，如果可能的话应进行评价。

4.27. 应增减碱性化合物，以便在运行期间时刻保持最佳 pH_T 值（运行温度下的 pH 值）。在压水堆中一般是加入氢氧化锂，而在 WWER 中加入氢氧化钾并监控总碱混合物（注入的钾、硼和中子反应产生的锂，可能还有作为杂质的钠）。保持这种最佳 pH_T 的目的是：(i) 尽量减少回路材料的均匀腐蚀率、传质率和剂量率；(ii) 防止材料发生应力腐蚀开裂；(iii) 避免燃料包壳腐蚀；(iv) 防止积垢诱导的功率偏移。

4.28. 应将氢气的浓度保持在最佳水平，以抑制辐射分解产生氧气并将电化学势保持在足够低的水平，防止不锈钢发生应力腐蚀开裂。此外，进入

一回路的补给水应进行脱气，如果残留的氧气含量超过规定的限值则应予以消除。

4.29. 腐蚀性杂质应保持在规定限值以下，以避免腐蚀一回路系统部件。化合物最重要的成分是氧气、氯化物、氟化物，可能还有硫酸盐。

4.30. 溶解度低的化合物（可能积聚在燃料表面引起温度升高，从而导致燃料包壳故障）的浓度应保持在最低水平。这些化合物包括钙、镁、铝化合物，可能还有二氧化硅（其离子可形成沸石）和有机化合物。

4.31. 应优化停堆和启动程序，控制腐蚀产物的排放，并使用冷却剂净化系统除盐设备去除腐蚀产物，同时尽量降低晶间应力腐蚀开裂的风险。

PHWR 电厂的一回路和慢化剂水化学控制

4.32. 需要对各种加工系统实施化学控制，通过尽量减少腐蚀、控制反应活度和尽量减少对电厂运行有害的杂质，支持实现和维持电厂的可用性、安全性、运行的高效性和经济性。

4.33. 仔细选择和控制一组化学参数，这些化学参数一起将减少流体对加工系统中使用的特定材料的侵蚀性，尽量减少加工系统的腐蚀。

4.34. 应建立重水（D_2O）管理系统以保持重水装量和控制氚活度水平。在整个重水管理系统中，重水应根据其氚和同位素组成进行分离。

4.35. 不允许热传输系统中重水的同位素组成降低到一个值以下，该值确保在热输送系统排空时防止过度的正反应性。此外，不允许热传输系统中重水的同位素组成超过燃料循环平衡时慢化剂的同位素组成。

4.36. 当在慢化剂中使用可溶性反应性药剂（毒物如硼和/或钆）控制反应堆的反应性，其浓度浓度要求应基于确保发生严重加工故障时将反应堆保持在次临界状态所需的负反应性。要达到超过毒性保证停堆状态所需的毒物浓度因核电厂而异，并应在安全分析中予以记录。用作中子毒物的硼和钆盐的同位素浓度，在引入反应堆系统之前应先加以核实，以确保其同位素浓度（硼-10、钆-155 至钆-157）等于或高于它们的天然同位素丰度。

4.37. 应充分确定覆盖气系统统中氘和氢浓度的行动限值，以消除产生爆炸性气体混合物的可能性。

4.38. 在一回路中溶解的氘的浓度应确保辐射分解被抑制，系统部件被保护不被氢化。

4.39. 杂质水平，特别是腐蚀产物，氯离子和氟离子的杂质水平，应保持在规定的限值内。应保持一回路中碱性试剂的浓度、pH 值和电导率之间的良好相关性，以便很好地指示不存在显著污染物浓度。

4.40. 反应堆停堆时，除溶解氘外，一回路应采用正常的化学规范。当反应器处于冷态和减压状态时不应添加氢气，一回路系统在停堆维护期间的部分空间应充满氮气（氮气覆盖）以尽量减少漏入空气。

4.41. 在反应堆停堆期间，除下列情况外，慢化剂系统应保持正常的化学规范：

(a) 由于安全停堆系统注入毒物，由于处于保证停堆状态或由于氙模拟慢化剂中含有钆；
(b) 正在清除覆盖气体；
(c) 慢化剂排空。

压水堆、WWER 和 PHWR 电厂的二回路水化学控制

4.42. 应根据“全挥发性处理”或“高 pH 值全挥发性处理”操作二回路。全挥发性处理是指仅使用挥发性碱性试剂，如氨和/或胺（如吗啉、乙醇胺、二甲胺），必要时还应添加还原剂。

4.43. 应特别注意，二回路系统中可能受流动加速腐蚀影响较大的各部分的完整性。因此，营运组织应制定定期视察计划，特别是对二次侧和辅助（配套系统）管道。

4.44. pH 值、氨和/或胺和还原剂的使用及其浓度是因电厂而异的，确保二回路系统各个部分所选择的 pH_T 值，应该符合下列情况：

(a) 如果避免或减少了碳钢的“流动加速腐蚀”，就减少给水中的腐蚀产物量，也就减少了在蒸汽发生器中的积聚；

(b) 与有效的净化系统兼容；

(c) 与二次侧材料相容；

(d) 尽量减少计划向环境排放的液态废物和固态废物。

4.45. 应监控蒸汽发生器管内一回路到二回路的泄漏率，并严格控制在预先设定的安全限值内。此外，还应限制这种泄漏以尽量减少放射性废物的产生（例如再生和冲洗溶液、树脂、过滤器、污泥）。

4.46. 应尽量减少和控制蒸汽发生器内有害杂质（如钠、氯、硫酸离子、铅和铜）的含量。应制定蒸汽发生器的排污限值，对于可能对蒸汽发生器管有害并可能存在于系统中的每种化学杂质，确定其行动等级。

4.47. 应评价化学控制对蒸汽发生器完整性的影响。进行这种评价的主要工具有：

(a) 蒸汽发生器管道完整性的无损检测（在役检查）结果，至少与一回路和二回路水化学计划相关的退化；

(b) 在至少一些换料停堆期间，对“隐蔽返回”效应（浓度水平）的评价；

(c) 计算代码或任何其他相关方法，用于评价运行期间蒸汽发生器管道缝隙和积聚物中所含液体的化学特征。

4.48. 用于控制二回路水杂质的方法应足够有效，以保持蒸汽发生器排污参数在规定的限值内。

4.49. 如有必要，应采用有效的清洗程序清除促进腐蚀的积聚物。

5. 辐射照射最优化的化学方面

5.1. 通过适当的化学系统使辐射照射最优化，结果是：

(a) 随着时间的推移，电厂中的剂量率不断降低；

(b) 尽量减少向环境排放的放射性物质；

(c) 利用水化学方法尽量减少放射性废物的产生。

职业辐射照射源和环境排放

5.2. 化学计划或辐射防护计划应包括控制系统和设备的剂量率。这种剂量率应保持最优化。在大修期间，如果可能也在运行期间，应定期检查系统和设备的剂量率。这样可以监控剂量率随时间发展的方式。

5.3. 对所有重要的放射化学参数应制定严格的规范，并应用于不同的运行模式。

5.4. 使用适当的耐腐蚀材料和完善的水化学系统是减少放射性物质积聚的一些手段。应使用各种去污技术使职业剂量最优化（考虑到第 5.22－5.24 段所提供的建议）。如果其他措施未能实现低剂量率，应将化学去污作为最后的选择。

5.5. 化学控制计划应支持生产高质量的水，并应包括下列内容：

(a) 指定及应用适当的标准和化学处理方法（例如针对压水堆/WWER 的 pH 值控制及氧气控制），以尽量减少腐蚀过程，从而减少水中腐蚀产物的量；

(b) 使用纯净补水，避免易被活化的化学污染物及悬浮物；

(c) 使用有效的一回路和二回路水净化系统，以控制溶解和悬浮的放射性物质；

(d) 对冷却剂系统中使用的化学品实施质量管理，从而避免污染物的有害影响。

5.6. 在第 5.13 段中描述了停堆期间一回路主要的放射源。在启动、正常运行、停堆和备用过程中，应考虑所有化学补救，并应采取措施减少放射性污染物的活度水平和管理其迁移。特别重要的是要优化实际停堆程序和计划维护活动的化学方面，以减少大修期间维护人员的剂量。

5.7. 应用的一回路水化学计划，应有效控制和尽量减少裂变产物和活化腐蚀产物在系统内表面的迁移和积聚所产生的放射性物质的积聚。

5.8. 营运组织应建立和执行液态和气态放射性流出物排放的监控和控制程序。放射性排放物应保持在最优化和低于控制值。

预防、职业辐射照射最优化和环境排放的系统及措施

裂变产物

5.9. 一回路冷却剂和其他介质中裂变产物的活度应保持在其规定的控制值以下。应通过持续监控和/或定期取样和测量来检查这一活度。应分析和评价放射性活度水平，以监控燃料棒的密封性。

5.10. 应在反应堆启动后运行的初始阶段规定主冷却剂中裂变产物活度的正常水平，以提供一个参考背景水平，该水平应用于趋势分析。此数值应包括在运行限值和条件中或在放射化学技术规范中。这种活度主要是制造过程中燃料包壳表面的铀污染和/或燃料故障造成的。

5.11. 在一回路水化学控制计划中，所有一回路材料均应考虑在内，包括燃料包壳，以防止燃料包壳故障和对一回路或环境产生有害影响。

5.12. 应严格控制溶解氧和/或氢的浓度和碱度，以尽量减少燃料包壳的恶化，从而优化职业辐射照射和环境排放。锆合金包壳对氧化腐蚀、氢致脆化以及冷却剂中高锂含量或低 pH 值、低溶解度杂质导致的腐蚀增加都很敏感，这些都会导致包壳上积聚物累积。大量积聚物会增加包壳温度，从而增加燃料包壳故障的风险，可能增加辐射照射。

已活化的腐蚀产物

5.13. 腐蚀过程应该被监控、跟踪和控制。在停堆期间，在只有很少或没有失效燃料存在的情况下，活化腐蚀产物是造成堆芯外辐射场的主要原因。这些腐蚀产物要么来自堆芯设备，要么从腐蚀和/或磨损表面排放到冷却剂系统中。腐蚀产物然后被一回路冷却剂输送到反应堆堆芯，在那里它们积聚在中子场的表面并被活化。它们随后再次排放到冷却剂系统中，从堆芯中迁移，积聚在堆芯以外的表面。

5.14. 应建立和实施腐蚀产物迁移的控制，以尽量减少活化腐蚀产物从堆芯排放和再次积聚，以免造成堆芯外的高辐射场。在正常功率运行过程中，通过保持一回路水化学参数尽可能恒定并尽可能接近最优值，来尽量减少这种迁移。

5.15. 在一回路系统中尽量减少含钴材料的使用，因为钴-60 放射性核素是辐射场的重要组成部分。应通过化学系统来控制腐蚀速率和钴的排放，以减少由于钴-60 造成的剂量率。

5.16. 辐射场的另一个重要因素是钴-58 放射性核素。它是通过 n-p 反应由镍产生的（中子取代了原子核中的质子）。由于镍是几乎所有一回路系统结构材料的重要组成部分，所以钴-58 的存在是不可避免的，其活度随合金中镍含量的增加而增加。运行期间，特别是停堆期间，优化的一回路水化学控制是一个最强大的工具，以尽量减少钴-58 导致的辐射场。

5.17. 设备中应尽量避免容易被活化的元素银和锑，必要时和可能时，通过选择适当的停堆化学系统，在停堆期间消除它们。在石墨慢化堆机组中，锆-95 也可能是辐射场的一个重要贡献因素，如果可能的话应予以消除。

5.18. 一旦核电厂建成并投入使用，通过适当的水化学系统进行化学控制应是营运者减少放射性物质积聚速度的主要技术。对正常运行和停堆、启动和备用过程的水化学参数，建立和实施充分控制，以尽量减少活化腐蚀产物在整个燃料循环中的排放、迁移和积聚。在停堆期间中，腐蚀产物的浓度可能会大幅增加，迁移方向也可能发生变化，导致堆芯外表面积聚。这可能导致大修期间剂量率和职业辐射照射增加，并可能导致放射性热点。

一回路系统部件

5.19. 在调试阶段，表面应在初始启动之前和期间进行预处理，以产生防护层，并确保所有系统有适当的钝化表面。该防护层随后将减少核电厂功率运行时腐蚀产物对冷却剂的排放，从而减少放射性物质的积聚。

5.20. 应实施化学控制，以避免有害的腐蚀作用，从而避免由于腐蚀产物的积聚而导致不必要的剂量率增加。在正常的功率运行过程中，应通过有效使用内置（在线）净化系统来确保化学控制。

5.21. 当更换系统中的设备和/或部分设备时，应考虑尽量减少使用含有可能导致腐蚀的潜在污染物的物质。在可行的情况下，应考虑更换钨铬钴合金和锑的计划。

去污过程

5.22. 应针对不同的应用，开发和验证有效的去污技术（如化学、电化学和机械）。费用、必要的停堆时间、使用腐蚀性试剂的风险和去污产生放射性废物，意味着应通过有效控制辐射场的积聚速率和适当的水化学控制来尽量减少去污技术的使用。去污应促使在电厂整个运行寿期中职业剂量的净减少。

5.23. 在一回路中，应避免广泛使用化学去污操作，以尽量减少表面保护氧化层的劣化，否则需要时间和进一步钝化才能恢复，并且表面光洁度会发生改变，从而增加再污染和腐蚀排放率。如果燃料表面没有均匀稳定的保护膜，就会发生广泛的腐蚀和迁移过程，可能会在燃料表面形成大量积聚物，增加燃料故障的风险。如果无法避免化学去污，则应在去污后恢复并控制表面的钝化状态。

5.24. 如果广泛使用化学去污操作，如蒸汽发生器或整个系统的化学去污，则应评价有害的副作用。在职业辐射照射最优化时，应考虑其他技术措施（例如屏蔽、注入系统、使用机器人、时间限值和人员培训）。

尽量减少液态和气态放射性废物的产生和排放

5.25. 应通过适当的运行和化学控制措施，使产生的放射性废物的活度和体积都保持在尽可能低的水平。应根据废物安全处置要求[10]严格控制放射性废物的处理和临时贮存。在处理和临时贮存期间，应考虑废物验收标准所规定的要求。关于核电厂运行中废物管理的进一步建议见参考文献[11]。

5.26. 为了尽量减少液态和气态废物和/或活度，应考虑采用下列方法：

(a) 监控和识别系统早期泄漏，并立即采取纠正措施；

(b) 设备的总项数以及电厂内液体处理的最优化，以减少所收集的液态废弃物的量；

(c) 液体的分离，以避免化学不相容物质的稀释和混合；

(d) 在可能及合理的情况下，减少化学品的数量、回收利用化学物质（特别是硼酸）或使用可完全、安全地分解的化学品；

(e) 建立适当的化学程序，防止并控制燃料和一回路至二回路冷却剂泄漏；

(f) 将进入系统的气体量减至最低；

(g) 使用离子交换树脂和选择性吸附剂；

(h) 使用过滤器把悬浮的放射性物质从液体中分离出来；

(i) 使用暂存箱和其他延迟系统（炭床），使放射性物质在排放之前发生衰变；

(j) 使用有效的过滤器把气溶胶与气态排放物分开；

(k) 使用处理方法减少体积（重组剂、吸收剂、蒸气回收系统、加压贮存），亦用作延迟系统；

(l) 废物最优化管理，以符合成本效益的方式尽量减少废物、方便弃置和减少接触。

5.27. 应实施适当的水化学控制，以尽量减少失水事故的风险和后果，这一事故会导致碘放射性核素向安全壳厂房排放。

6. 化学监视

6.1. 营运组织应建立和实施化学监视计划，以核实化学控制在电厂系统中的有效性。还应核实安全重要结构、系统和设备在规定的限值内运行。应当用这种监视计划来探测参数的趋势，发现和消除超出范围的化学参数的不良影响和后果。化学监视计划应反映电厂生命周期所有阶段的化学规范，包括调试、停堆和启动阶段，以及系统长期停运的阶段。

6.2. 化学监视计划的目标是：

(a) 核实符合控制和诊断化学限值和条件；

(b) 维持结构、系统和部件的可用性；

(c) 在任何异常化学条件成为对安全有重大影响的后果之前，及早发现并允许采取纠正措施；

(d) 确保符合排放限值。

6.3. 化学监视计划应利用一切现有资料来源，包括化学数据和与化学相关的其他技术数据。

6.4. 安全重要化学过程的计算软件在使用前应由第三方或其他相关独立组织或专家进行核实确认。详情见参考文献[12]。

6.5. 监视计划应包括趋势，以便检查相关控制和诊断参数是否在可接受的限值内。

6.6. 应考虑对最重要的化学参数使用化学绩效指标，应跟踪这些指标的趋势，并定期报告以供评价。

6.7. 应通过使用在线仪器仪表、对个别有代表性的样品（“人工取样”）进行分析以及随后对结果进行评价来完成化学监视。

化学监控

6.8. 应考虑对控制参数使用在线监控，作为评价电厂系统化学条件的较好的监控方法。

6.9. 实验室分析应被认为是诊断化学问题的必要补充，以核实在线监控的准确性，以及应用在线监控是否可能或合理。

6.10. 应为所有在线和实验室分析制定书面程序，这些程序包括：

(a) 应说明程序的预期用途；
(b) 应提及用于制订程序的资料来源；
(c) 应提供所用各种分析方法的概要，说明方法的可能干扰、准确度、线性和范围，以及测量的精度，以便说明验证方式；
(d) 应说明开展分析所需的设备、试剂和标准；
(e) 应为分析及计算结果提供逐步指示；
(f) 应注明质量控制要求和工业安全和辐射防护措施；
(g) 提供仪器仪表校准的信息。

6.11. 应制定校准和维护计划，并应用于所有在线和实验室监控仪器仪表。应明确校准和维护的职责。

6.12. 用于校准的试剂和源应是有效的（例如，应用的所有标准均应可溯源到经过认证的标准溶液或试剂）。

6.13. 校准点的选择应使其测量范围重叠，并尽可能接近预期的测量值。

在线监控

6.14. 应利用在线化学监控和数据采集系统准确测量和记录数据，为关键化学参数提供警报。分析仪器仪表的测量范围应大于电厂的运行范围和安全限值。

6.15. 作为核电厂综合管理系统[7]一部分，应实现一个管理系统，保证通过在线监控和数据采集系统采集的数据准确可靠。可用于这项任务的其他方法包括：

(a) 根据设备制造商的建议和电厂经验或使用标准溶液进行及时校准；

(b) 比较在线监控和实验室设备的结果；

(c) 比较不同采样点的数据（如蒸汽发生器排污系统阳离子电导率测量值的相互比较）或比较同一采样点的不同参数测量值，以评价所测数据的可信性。

6.16. 应考虑监控地点的典型物理条件（如温度、流速）。虽然有些仪器仪表具有温度补偿功能，但应控制温度以评价结果，因为这些仪器仪表的精度和温度范围有限。

实验室监控

6.17. 实验室监控牵涉电厂系统取样，分析溶解和悬浮杂质的特定化学性质、浓度以及放射性核素的活度。应规定和提供将要进行的化学监控活动的范围和周期。对于每一种化学系统（启动、停堆、稳定功率运行、瞬态），都应该确定采样点、分析周期和过程。

6.18. 应分析“检验标准物”（在指定时间间隔内所作的测量），并维持控图持续应用，以显示所采用的方法继续提供准确的结果。可考虑设立实验室间比对计划。

6.19. 在确定所采用的分析方法时，应考虑相关化学参数的预期浓度水平。选择的方法应在预期浓度范围内提供足够的灵敏度。应确定“基体效应”（样本中其他成分的效应），必要时予以纠正。

放射性化学

6.20. 放射性化学控制是核电厂化学活动的基本组成部分。放射性化学参数的测量对电厂从初始运行到退役的生命周期各个阶段的安全管理至关重要。

6.21. 应对闭式冷却水回路和压水堆的一次侧和二次侧等系统进行放射化学测量，以检测材料屏障中是否存在泄漏。放射性化学测量应在广泛的电厂活动基础上进行，如下所述。

6.22. 应开展一回路冷却剂活度监控，以支持下列任务：

(a) 测量裂变产物的活度，作为评价燃料完整性、识别燃料包壳泄漏和估计包壳缺陷类型和数量的一种手段：
   - 为此，应采用质量优良、保养良好和校准过的 γ 能谱仪、一个包含校准过的各种测量几何构型的“万花筒”，以及有效的、经过核实和各自独立的放射化学程序包；
   - 这些测量结果应作为评价燃料泄漏的验证计算的输入数据。应确保对关键裂变产物的活度测量具有足够的敏感性，作为及早发现燃料泄漏的一个主要条件；
   - 伴随裂变产物“尖峰现象”[3] 的功率瞬变应得到充分监控；
   - 作为这些行动的一部分，并根据燃料的类型，应适当选择挥发性（例如惰性气体、碘）和非挥发性（例如铯、超铀元素）放射性核素，以便大小包壳缺陷都能够检测；
   - 应采用适当选择的放射性核素活度比来评定泄漏燃料棒的燃耗情况，以便根据反应堆的类型，在运行或大修期间便于识别这些燃料棒。

(b) 测量腐蚀产物的活度，作为监控化学性能、放射性物质迁移过程和潜在异物进入的手段。为了确保数据有良好的代表性，如果可能的话，应采用能够对液体和颗粒进行“活度分数”（将活度分离为比分数）的适当等速采样方法；

---

[3] 当冷却剂压力下降导致燃料棒所有空间（燃料芯块的裂缝、燃料芯块与包壳之间缝隙和扩张室）积聚的裂变产物排放到冷却剂中，会产生尖峰现象（见参考文献[13]）。

(c) 测量其他活化种类（例如钠、钾和氯的放射性同位素），作为核实或交叉核对化学分析结果和及早预警可能存在低浓度的未知杂质的有用手段。

6.23. 放射性化学测量应该是乏燃料处理操作的一部分，从反应堆水池贮存通过任何运输操作到临时贮存设施，以便监控燃料的完整性和燃料从反应堆移出后可能产生的缺陷。

6.24. 在监控去污过程的性能，特别是清除放射性物质作为净化系统运行的主要目的时，应开展放射化学测量。

6.25. 在监控去污过程的效率，特别是大设备去污时，应测量相关放射性核素的活度，以便优化处理时间和尽量减少放射性废物的产生。监控实践应符合合理可行尽量低的原则和目标。

6.26. 应采用放射化学方法，为放射性废物的处理、整备和处置提供必要的结果，以确定其表征：

(a) 针对难以测量的放射性核素（如纯 α 或 β 发射体以及低能 γ 发射体）的活度测量，应制定有效和经过验证的放射性化学分离方法；

(b) 对于每个处理设施指定的放射性核素，根据安全分析报告，应重复确定一组废物流的活度，以便积累足够的数据，从中获得难以测量放射性核素与关键（参考）放射性核素（所谓的“指纹”）之间的数学相关性；

(c) 这种相关性应用于新产生废物的表征计算，但应通过新的放射化学分析定期检查其正确性。

6.27. 液态和气态放射性流出物的活度应通过适当的活度分数和监控方法定期监控。

6.28. 还应采用依赖于放射化学分离方法和适当校准的液体闪烁计数器的放射化学方法来监控作为低能 β 发射体的液态和气态氚和碳-14 的排放情况。

6.29. 测定一回路表面积聚物的活度，有助于确定潜在的特定放射性核素污染物（如锑、银）或职业辐射照射的趋势和异常。这种测定应采用擦拭

取样、腐蚀层刮取或电化学取样，或对一回路中适当选择的部分进行原位 γ 能谱测定，或采用其他方法。

化学设施及设备

实验室设施

6.30. 实验室应得到适当的防护且位置合适，并应具有足够的空间、用品和设备，同时考虑到人的因素。

6.31. 应提供冗余或同等的实验室设施，以确保随时提供分析服务。

6.32. 实验室应按照电厂的程序，在工作区域和取样点有良好的总体整洁、有序和干净，包括满足相关污染水平标准。

6.33. 应保证工业安全（提供通风柜通风，易燃溶剂和有害物质、易燃和其他气体的妥当存放，提供人员安全淋浴以及个人防护设备和急救用品）和辐射安全（适当的辐射屏蔽和污染控制设施）。所有实验室和工作实践均应按照工业安全标准和防护（及安全）最优化原则进行[3、14]。

6.34. 应制订防护措施，并将其列入应对火灾、水灾和其他内外部事件等意外事件的现有程序中。

实验室仪器仪表

6.35. 所有实验室仪器仪表设备应处于良好状态，以便为监控提供准确可靠的分析数据。这些仪器仪表和设备的状况应由文件化的维护计划和定期校准计划来保证。

6.36. 应提供足够的冗余仪器仪表和设备，以便按照规定频度开展给定的类型的分析。应验证所使用的仪器仪表、设备和方法。

6.37. 实验室应提供仪器仪表手册、维护良好的日志和校准记录。

实验室性能试验

6.38. 应通过实验室内部和实验室间的检测，定期检查程序的充分性和准确性，以确定分析干扰和不适当的校准、分析技术和仪器仪表操作。应评

价这些试验结果，以确定意外差异和偏差的原因，同时考虑短期和长期影响。如有必要，应采取纠正措施进一步改善实验室的性能。

仪器仪表性能调查

6.39. 应使用标准分析的结果根据规定的验收标准来核实仪器仪表的准确性。

6.40. 如果仪器仪表性能与期望值有显著偏差，应进行调查以确定偏差的原因。为了保持或恢复预期的精度水平，可能需要修理或重新校准分析仪器仪表。

取样系统

6.41. 需要适当考虑正确的采样条件，因为影响测量结果准确性和可靠性的最重要的因素之一是采样，这是每一次分析测量的第一步。在获取样品时，利用通过在线或实验室测量获得的数据时，应考虑到获取样品的延迟（例如，液体样品的“取样线”的体积），并考虑获得具有代表性的可溶性和颗粒状腐蚀产物相关的特定取样问题。

6.42. 应通过适当冲洗取样管线、合理确定流速、容器的清洁以及尽量减少取样过程中化学污染和溶解气体或挥发性物质损失的风险来确保有代表性的抓样。应提供关于样本收集的书面程序。

事故后采样系统

6.43. 事故后取样系统或其他适当的取样设施应在应急程序要求时准备就绪，并应考虑用于从电厂系统的定期取样。如果没有事故后取样系统，则应采用其他方法对堆芯损坏进行评价，并估计排放到安全壳内的裂变产物的量。

6.44. 为使事故后取样系统能正常运行，应提供下列资料：

(a) 事故后取样系统的操作程序；

(b) 对采样、分析人员的辐射防护措施；这些措施应事先评价，并在使用事故后取样系统时加以实施；

(c) 预防性维护计划；

(d) 定期检查事故后取样系统的可操作性；

(e) 给运行事故后取样系统的指定人员（即抓取样本及进行其后活动的人员）提供定期培训；

(f) 需监控的化学参数的规范（如反应堆水净化系统的导电率和主蒸汽系统的气态裂变产物）；

(g) 职业辐射照射最优化的程序。

7. 化学数据管理

数据采集

7.1. 应妥当记录分析和质量控制测量的结果（例如实验室日志、注册数据表、包含定期在线测量的数据库）。应为结果提供补充信息，以便解释、评定和交流结果。

7.2. 与化学相关的数据应按照电厂质量保证计划的规定，妥善存档、存储、易于检索。

数据评审

7.3. 应评审分析数据，以核实其完整性、准确性和一致性。为了确定实际和潜在的问题，应在记录数据之后，根据任何偏差的重要性和潜在后果，迅速开始对化学数据进行评定。

7.4. 如果结果出现偏差或异常，应由有能力的个人进行检查和核实，然后及时采取适当的纠正措施并形成文件。

7.5. 化学数据评审的主要职责应分配给化学人员。化学人员应将目前的数据与以前取得的数据进行比较，并应调查所得结果超出系统运行工况的预期范围的情况，应查明最近化学品的添加情况和操作上的变化，并应考虑实验室质量控制试验的结果。

数据评价与趋势

7.6. 应将数据与运行限值进行比较，并对数据进行评价和趋势分析，以评定化学控制的效率，查明分析数据的不一致性和化学条件的不利趋势，并帮助优化电厂系统的化学。应特别注意偏离运行限值的数据。

7.7. 应绘制化学参数的图形化趋势图，以便充分了解电厂化学条件，并便于发现相关化学参数与系统状态之间的相互关系。

7.8. 应在记录数据后就评审趋势，以便在参数超过其规定限值之前查明可能需要纠正的问题。趋势还应用于评价由电厂运行变化引起的短期瞬变以及在稳定的电厂工况下发生的缓慢的长期变化。对缓慢变化的评价可能有助于预测变化何时可能成为重大安全问题。

7.9. 应定期评价重要的短期和长期化学结果，并报告给相关管理层。当分析数据表明需要迅速采取行动纠正化学相关问题时，应与其他小组建立有效的沟通。

反馈

7.10. 应建立将分析结果传递给其他部门（如运行部门）的方法，并将该方法传达给相关人员使其明白，确保及时纠正发现的问题[15]。

8. 培训和资格

8.1. 化学人员的招聘、培训和资格应按照参考文献[16]建议进行。

能力和资格

8.2. 化学计划的管理应确保化学人员具备资格，并具备必要的知识、技能、能力和监督水平，以正确履行其职责，并有足够的动力对安全采取积极的态度[1、17]。

8.3. 营运组织应确保参与化学计划各部分的所有工作人员（不仅是化学专家）都具有足够的技能。

8.4. 为了达到和保持高水平的安全，化学人员应该清楚相关安全的技术和管理要求。

培训政策

8.5. 应按照参考文献[16]提供的建议，采用系统的化学培训方法。应制订和执行基本培训（即所有工作人员的一般培训）、初训和复训。此外，由于化学人员需要发展适当和特定的技能和增加他们的知识基础，应定期强化某些特定的属性。

8.6. 对化学专家的初始培训应包括在电厂的岗位培训（例如，在化学实验室、取样区、化学处理和贮存区以及操作系统中化学品的注射点）。

8.7. 在有大量化学人员非定期执行某些任务的电厂，也应考虑定期进行复训。

培训设施及资料

8.8. 应考虑到广泛使用的、在选择适当时已被证实能有效实现培训目标的培训设施和方法。这些经过证实的设施和方法包括：

(a) 应在进行化学活动的实验室、车间或其他地点提供培训，以确保在实际工作环境中安全工作；

(b) 应按照书面操作程序，针对如取样、控制水处理技术、使用在线化学站、修复在线和离线设备缺陷、对在线设备和实验室仪器仪表进行定期小修、使用事故后采样系统等活动，应开展在岗培训；

(c) 所有化学活动均应由受权的化学人员开展，但可准许学员在“影子”跟随受权人员的时候开展化学活动；

(d) 培训课程应包括识别异常情况和不利趋势的技术。

8.9. 核电厂化学专家应在其职责范围内接受充分培训并具有足够的知识，以便能够有效地与运行组进行沟通并提供支持。

培训计划

8.10. 培训计划应包括在将新的技术和分析方法引进电厂之前对其进行培训。

8.11. 所有参与化学相关活动（例如生产脱矿化水、油分析、测量设备的校正、计量支援及化学品的认证）的合格供应商及承包商均须接受适用电厂标准的全面培训并在核电厂工作中采用这些标准。

8.12. 化学人员应参加涉及化学品和放射性物质排放的培训计划或应急演练。应急化学程序、应急设备和应急情况的价值应加以核实，在培训和演练中使用，以确保应急人员作出正确响应。这也将有助于确认应急行动是否足够，并使工作人员熟悉需要利用的沟通方法。

8.13. 化学人员和其他处理化学品的工作人员应接受下列特定领域的培训：

(a) 危害和易燃化学品的处理；
(b) 在化验室内外贮存和使用的化学品的标签；
(c) 物质安全数据表；
(d) 个人防护用品的使用和维护；
(e) 有毒化学品的具体使用和贮存方法。

8.14. 营运组织应该支持电厂化学代表出席国家和国际研讨、会议，并提供访问网络和论坛交流核工业相关运行经验的便利，工作人员可能会从中获得新的信息科学成果、技术发展和其他核电厂的运行经验。

9. 化学品和其他物质的质量控制

9.1. 应制定政策，防止使用含有有害杂质的化学品或其他物质，以免将有害杂质引入电厂区域或回路从而影响冷却剂、辅助和安全系统。还应根据参考文献[7]规定的要求，明确规定现场化学品和其他物质的协调控制责任。

9.2. 营运组织应负责使用合适的化学品并保证其正确的质量。

9.3. 应按照明确规定的程序控制电厂内化学品和其他材料的使用，包括承包商带到电厂的化学品和其他物质的使用。不合格化学品或其他物质侵入电厂系统可能导致化学系统的偏差，导致设备和系统损害或剂量率增加。在设备表面使用不受控制的物质也可能导致损坏。

9.4. 应提供一份或一份以上获准在核电厂使用的化学品和其他物质的清单。化学、维护和采购工作人员和承包商应熟知这些清单。

9.5. 用于任何安全相关系统的试剂和离子交换树脂的杂质应在规定的规范范围内，在使用前应进行核实。

9.6. 化学品和其他物质如含有超过规定限值的引起腐蚀的成分，则不应用于系统、结构或部件中。

9.7. 应提供化学品和其他物质，包括危害化学品的采购、贮存、更换和订购程序。

9.8. 接收化学品时，应通过化学分析和/或证书和/或化学鉴定试验来核实规定的质量。

9.9. 化学品和物质应按其获准使用的区域作标签，以便清楚地加以识别。标签应标明物质的保质期。

9.10. 当化学品由贮存容器转移至较小的容器时，该容器须贴上化学品名称、转移日期及象形符号，以显示风险及使用区域。较小容器内的物项不应转移回贮存容器。化学品和物质的残留物应按照电厂程序处理。应定期检查已开启贮存容器内的化学品的质量。

9.11. 应鼓励用无害化学品代替有害化学品或其他物质（从人员安全、环境保护和物质相容性的角度来看）。

9.12. 接收、贮存、运输和使用化学物质的相关工作人员应接受培训，使其了解贮存相容性、标签要求、搬运、安全以及对电厂结构、系统和部件的影响（见第 8 部分）。

9.13. 管理层应定期对电厂进行巡视，以评价化学计划的有效性，并检查是否存在化学品贮存不受控的情况。

9.14. 应提供所有经批准的化学品和物质的材料安全数据表，并便于查阅。这些数据表应至少包括对工作人员健康的可能危害、处理物质的预防措施和意外使用时的医疗建议。

9.15. 化学品只应存放于合适的仓库内，该仓库须防火并能收集泄漏物，并按需要设有安全淋浴设施。氧化还原化学品、易燃溶剂、浓酸碱溶液应

分开存放。装有化学品的容器应贴上适当的标签。少量化学品可贮存在车间或操作部门的其他受控环境中。

9.16. 在贮存化学品时，应考虑到已打开容器的保质期缩短。未密封和不满容器的贮存应确保残留产品保持良好状态。

9.17. 应制定程序，以明确规定用于每个安全重要设备和影响安全重要系统可用性的所有油品质量标准。

9.18. 应定期分析用于安全重要系统和/或安全重要系统可用性的润滑油和液压油，以检查表征润滑油状况的控制参数。

参 考 文 献

[1] 国际原子能机构《核电厂安全：调试和运行》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSR-2/2 号，国际原子能机构，维也纳（修订版编写中）。

[2] 国际原子能机构《核电厂维护、监视和在役检查》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-2.6 号，国际原子能机构，维也纳（2002 年）。

[3] 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》（2007 年版），国际原子能机构，维也纳（2007 年）。

[4] 国际原子能机构《轻水堆水化学的安全方面》，国际原子能机构《技术文件》第 489 号，国际原子能机构，维也纳（1989 年）。

[5] 国际原子能机构《核电厂营运组织》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-2.4 号，国际原子能机构，维也纳（2001 年）。

[6] 国际原子能机构《设施和活动管理系统的适用》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GS-G-3.1 号，国际原子能机构，维也纳（2006 年）。

[7] 国际原子能机构《设施和活动管理系统》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 GS-R-3 号，国际原子能机构，维也纳（2006 年）。

[8] 国际原子能机构《核电厂运行限值和条件及运行程序》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-2.2 号，国际原子能机构，维也纳（2000 年）。

[9] 国际原子能机构《核电厂堆芯管理和燃料装卸》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-4.3 号，国际原子能机构，维也纳（2002 年）。

[10] 国际原子能机构《放射性废物处置》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SSR-5 号，国际原子能机构，维也纳（2011 年）。

[11] 国际原子能机构《核电厂运行中的辐射防护和放射性废物管理》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-2.7 号，国际原子能机构，维也纳（2002 年）。

[12] 国际原子能机构《核电厂安全重要计算机系统软件》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-1.1 号，国际原子能机构，维也纳（2000 年）。

[13] 国际原子能机构《核电厂的辐射防护设计》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-1.13 号，国际原子能机构，维也纳（2005 年）。

[14] 欧洲原子能联营、联合国粮食及农业组织、国际原子能机构、国际劳工组织、国际海事组织、经济合作与发展组织核能机构、泛美卫生组织、联合国环境规划署、世界卫生组织，《基本安全原则》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 SF-1 号，国际原子能机构，维也纳（2006 年）。

[15] 国际原子能机构《核设施事件经验反馈系统》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-2.11 号，国际原子能机构，维也纳（2006 年）。

[16] 国际原子能机构《核电厂员工的招聘、资格和培训》，国际原子能机构《安全标准丛书》第 NS-G-2.8 号，国际原子能机构，维也纳（2002 年）。

[17] 国际核安全咨询组《安全文化》，《安全丛书》第 75-INSAG-4 号，国际原子能机构，维也纳（1991 年）。

参与起草和审订人员

Bolz, M.	德国菲利普斯堡核电厂
Dubois, D.	国际原子能机构
Frolov, S.	世界核营运者组织
Hanus, V.	捷克特梅林核电厂
Makela, K.	芬兰洛维萨核电厂
Nordmann, F.	法国电力公司
Renev, A.	国际原子能机构
Schunk, J.	匈牙利帕克斯核电厂
Smiesko, I.	斯洛伐克波胡尼斯核电厂
Zotica, D.	罗马尼亚切尔纳沃德核电厂

国际原子能机构安全标准核可机构

星号表示通讯成员。通讯成员收到征求意见稿和其他文件，他们一般不参加会议。两个星号表示候补者。

安全标准委员会

阿根廷：González, A.J.；澳大利亚：Loy, J.；比利时：Samain, J.-P.；巴西：Vinhas, L.A.；加拿大：Jammal, R.；中国：刘华（Liu Hua）；埃及：Barakat, M.；芬兰：Laaksonen, J.；法国：Lacoste, A.-C.（主席）；德国：Majer, D.；印度：Sharma, S.K.；以色列：Levanon, I.；日本：Fukushima, A.；韩国：Choul-Ho Yun；立陶宛：Maksimovas, G.；巴基斯坦：Rahman, M.S.；俄罗斯：Adamchik, S.；南非：Magugumela, M.T.；西班牙：Barceló Vernet, J.；瑞典：Larsson, C.M.；乌克兰：Mykolaichuk, O.；英国：Weightman, M.；美国：Virgilio, M.；越南：Le-chi Dung；原子能机构：Delattre, D.（协调员）；核安全咨询小组：Hashmi, J.A.；欧盟：Faross, P.；国际核安全小组：Meserve, R.；国际放射防护委员会：Holm, L.-E；经济合作与发展组织核能机构：Yoshimura, U.；安全标准委员会主席：Brach, E.W.（运输安全标准委员会）；Magnusson, S.（辐射安全标准委员会）；Pather, T.（废物安全标准委员会）；Vaughan, G.J.（核安全标准委员会）。

核安全标准委员会

阿尔及利亚：Merrouche, D.；阿根廷：Waldman, R.；澳大利亚：Le Cann, G.；奥地利：Sholly, S.；比利时：De Boeck, B.；巴西：Gromann,A.；*保加利亚：Gledachev, Y.；加拿大：Rzentkowski, G.；中国：李京喜（Jingxi Li）；克罗地亚：Valčić, I.；*塞浦路斯：Demetriades, P.；捷克：Šváb, M.；埃及：Ibrahim, M.；芬兰：Järvinen, M.-L.；法国：Feron, F.；德国：Wassilew, C.；加纳：Emi-Reynolds, G.；*希腊：Camarinopoulos, L.；匈牙利：Adorján, F.；印度：Vaze, K.；印度尼西亚：Antariksawan, A.；伊朗：Asgharizadeh, F.；以色列：Hirshfeld, H.；意大利：Bava, G.；日本：Kanda, T.；韩国：Hyun-Koon Kim；利比亚：Abuzid, O.；立陶宛：Demčenko, M.；马来西亚：Azlina Mohammed Jais；墨西哥：Carrera, A.；摩洛哥：Soufi, I.；荷兰： van der Wiel, L.；巴基斯坦：Habib, M.A.；波兰：Jurkowski, M.；罗马尼亚：Biro, L.；俄罗斯：Baranaev, Y.；斯洛伐克：Uhrik, P.；斯洛文尼亚：Vojnovič, D.；南

非：Leotwane, W；西班牙：Zarzuela, J.；瑞典：Hallman, A.；瑞士：Flury, P.；突尼斯：Baccouche, S.；土耳其：Bezdegumeli, U.；乌克兰：Shumkova, N.；英国：Vaughan, G.J.（主席）；美国：Mayfield, M.；乌拉圭：Nader, A.；欧盟：Vigne, S.；欧洲原子能公司：Fourest, B.；原子能机构：Feige, G.（协调员）；国际电力委员会：Bouard, J.-P.；国际标准化组织：Sevestre, B.；经济合作与发展组织核能机构：Reig, J.；*世界核能协会：Borysova, I。

辐射安全标准委员会

*阿尔及利亚：Chelbani, S.；阿根廷：Massera, G.；澳大利亚：Melbourne, A.；*奥地利：Karg, V.；比利时：van Bladel, L.；巴西：Rodriguez Rochedo, E.R.；*保加利亚：Katzarska, L.；加拿大：Clement, C.；中国：杨华庭（Huating Yang）；克罗地亚：Kralik, I.；*古巴：Betancourt Hernandez, L.；*塞浦路斯：Demetriades, P.；捷克：Petrova, K.；丹麦：Øhlenschlæger, M.；埃及：Hassib, G.M.；爱沙尼亚：Lust, M.；芬兰：Markkanen, M.；法国：Godet, J.-L.；德国：Helming, M.；加纳：Amoako, J.：*希腊：Kamenopoulou, V.；匈牙利：Koblinger, L.；冰岛：Magnusson, S.（主席）；印度：Sharma, D.N.；印度尼西亚：Widodo, S.；伊朗：Kardan, M.R.；爱尔兰：Colgan, T.；以色列：Koch, J.；意大利：Bologna, L.；日本：Kiryu, Y.；韩国：Byung-Soo Lee；*拉脱维亚：Salmins, A.；利比亚：Busitta, M.；立陶宛：Mastauskas, A.；马来西亚：Hamrah, M.A.；墨西哥：Delgado Guardado, J.；摩洛哥：Tazi, S.；荷兰：Zuur, C.；挪威：Saxebol, G.；巴基斯坦：Ali, M.；巴拉圭：Romero de Gonzalez, V.；菲律宾：Valdezco, E.；波兰：Merta, A.；葡萄牙：Dias de Oliveira, A.M.；罗马尼亚：Rodna, A.；俄罗斯：Savkin, M.；斯洛伐克：Jurina, V.；斯洛文尼亚：Sutej, T.；南非：Olivier, J.H.I.；西班牙：Amor Calvo, I.；瑞典：Almen, A.；瑞士：Piller, G.；*泰国：Suntarapai, P.；突尼斯：Chékir, Z.；土耳其：Okyar, H.B.；乌克兰：Pavlenko, T.；英国：Robinson, I.；美国：Lewis, R.；*乌拉圭：Nader, A.；欧盟：Janssens, A.；联合国粮食及农业组织：Byron, D.；原子能机构：Boal, T.（协调员）；国际放射防护委员会：Valentin, J.；国际电力委员会：Thompson, I.；国际劳工处：Niu, S.；国际标准化组织：Rannou, A.；国际源供应商和生产者协会：Fasten, W.；经济合作与发展组织核能机构：Lazo, T.E.；泛美卫生组织：Jiménez, P.；联合国原子辐射影响科学委员会：Crick, M.；世界卫生组织：Carr, Z.；世界核能协会：Saint-Pierre, S。

运输安全标准委员会

阿根廷：López Vietri, J.；**Capadona, N.M.；澳大利亚：Sarkar, S.；奥地利：Kirchnawy, F.；比利时：Cottens, E.；巴西：Xavier, A.M.；保加利亚：Bakalova, A.；加拿大：Régimbald, A.；中国：李晓清 （Xiaoqing Li）；克罗地亚：Belamarić, N.；*古巴：Quevedo Garcia, J.R.；*塞浦路斯：Demetriades, P.；捷克：Duchaček, V.；丹麦：Breddam, K.；埃及：El-Shinawy, R.M.K.；芬兰：Lahkola, A.；法国：Landier, D.；德国：Rein, H.；*Nitsche, F.；**Alter, U.；加纳： Emi-Reynolds, G.；*希腊：Vogiatzi, S.；匈牙利：Sáfár, J.；印度：Agarwal, S.P.；印度尼西亚：Wisnubroto, D.；伊朗：Eshraghi, A.；*Emamjomeh, A.；爱尔兰：Duffy, J.；以色列：Koch, J.；意大利：Trivelloni, S.；**Orsini, A.；日本：Hanaki, I.；韩国：Dae-Hyung Cho；利比亚：Kekli, A.T.；立陶宛：Statkus, V.；马来西亚：Sobari, M.P.M.；**Husain, Z.A.；墨西哥：Bautista Arteaga, D.M.；**Delgado Guardado, J.L.；*摩洛哥：Allach, A.；荷兰：Ter Morshuizen, M.；*新西兰：Ardouin, C.；挪威：Hornkjøl, S.；巴基斯坦：Rashid, M. ；*巴拉圭：More Torres, L.E.；波兰：Dziubiak, T.；葡萄牙：Buxo da Trindade, R.；俄罗斯：Buchelnikov, A.E.；南非：Hinrichsen, P.；西班牙：Zamora Martin, F. 瑞典：Häggblom, E.；**Svahn, B.；瑞士：Krietsch, T.；泰国：Jerachanchai, S.；土耳其：Ertürk, K.；乌克兰： Lopatin, S.；英国：Sallit, G.；美国：Boyle, R.W.；Brach, E.W.（主席）；乌拉圭：Nader, A.；*Cabral, W.；欧盟：Binet, J.；原子能机构：Stewart, J.T.（协调员）；国际航空协会：Brennan, D.；国际民用航空组织：Rooney, K.；国际航空飞行员协会联合会：Tisdall, A.；**Gessl, M.；国际海事组织：Rahim, I.；国际标准化组织：Malesys, P.；国际源供应和生产者协会：Miller, J.J.；**Roughan, K.；联合国欧洲经济委员会：Kervella, O.；万国邮政联盟：Bowers, D.G.；世界核能协会：Gorlin, S.；世界核运输研究所：Green, L。

废物安全标准委员会

阿尔及利亚：Abdenacer, G.；阿根廷：Biaggio, A.；澳大利亚：Williams, G.；*奥地利：Fischer, H.；比利时：Blommaert, W.；巴西：Tostes,M.；*保加利亚：Simeonov, G.；加拿大：Howard, D.；中国：曲志敏（Zhimin Qu）；克罗地亚：Trifunovic, D.；古巴：Fernandez, A. ；塞浦路斯 Demetriades, P.；捷克：Lietava, P.；丹麦：Nielsen, C.；埃及：Mohamed, Y.；爱沙尼亚：Lust, M. ；芬兰：Hutri, K.；法国：Rieu, J. ；德国：Götz, C.；加纳：Faanu, A.；希腊：Tzika, F.；匈牙利：Czoch, I.；印度：Rana, D.；印度尼西亚：Wisnubroto,

D.；伊朗：Assadi, M.；*Zarghami, R.；伊拉克：Abbas, H.；以色列：Dody, A.；意大利：Dionisi, M.；日本：Matsuo, H. ；韩国：Won-Jae Park；*拉脱维亚：Salmins, A.；利比亚：Elfawares, A.；立陶宛：Paulikas, V.；马来西亚：Sudin, M. ；墨西哥；Aguirre Gómez, J.；*摩洛哥：Barkouch, R.；荷兰：van der Shaaf, M.；巴基斯坦：Mannan, A.；*巴拉圭：Idoyaga Navarro, M.；波兰：Wlodarski, J.；葡萄牙：Flausino de Paiva, M.；斯洛伐克：Homola, J.；斯洛文尼亚：Mele, I.；南非：Pather, T.（主席）；西班牙：Sanz Aludan, M.；瑞典：Frise, L.；瑞士：Wanner, H.；*泰国：Supaokit, P.；突尼斯：Bousselmi, M.；土耳其：Özdemir, T.；乌克兰：Makarovska, O.；英国：Chandler, S.；美国：Camper, L.；*乌拉圭：Nader, A.；欧盟：Necheva, C.；欧洲核设施安全标准：Lorenz, B.；*欧洲核设施安全标准：Zaiss, W.；原子能机构：Siraky, G.（协调员）；国际标准化组织：Hutson, G.；国际源供应商和生产者协会：Fasten, W.；经济合作与发展组织核能机构：Riotte, H.；世界核能协会：Saint-Pierre, S。

IAEA
国 际 原 子 能 机 构

No. 27

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