

Utilization of dangerous chemicals and design points for storage facilities on nuclear power plant

Liang DONG¹, Yilin WANG¹, Feng YAN^{2*}

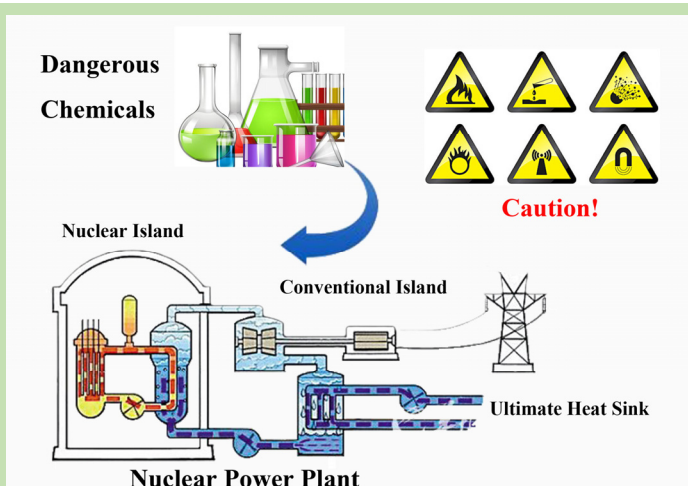
1. China Nuclear Power Engineering Co., Ltd., Beijing 100840, China

2. North China Pharmaceutical Company Ltd. Beida Branch, Shijiazhuang, Hebei 052165, China

Abstract: Various chemicals are used during the operation and maintenance process of nuclear power plants, and some of them are identified as hazardous chemicals. In the nuclear power plants, the safety issues of dangerous chemicals are not directly correlated with the safety issues of radioactive materials but their hazards can be added together to enlarge the total hazards, so it's of great significance to strengthen the design and management of dangerous chemicals. The second-generation modified M310 pressurized water reactor nuclear power plant is taken for instance. More than 14 kinds

of chemicals are applied, for example fuming sulfuric acid, liquid ammonia, acetylene and so on. Radioactive materials are also mentioned, such as radioactive sources, radioactive solids, liquid waste and gas waste, but radioactive materials should not be classified as dangerous chemical. Identification of major hazard installations of dangerous chemicals is a management of units that produce, store, use and operate chemicals. The identification in nuclear power plants based on the Identification of major hazard installations for dangerous chemicals, lists of dangerous goods, and the rules for classification and labelling of chemicals—part 18: acute toxicity. The evaluation of major hazard sources is characterized by the ratio of the presence of each identified substance in the identification unit to the critical mass. This ratio is expressed in q/Q (critical value) in the Identification of Major Hazardous Sources of Hazardous Chemicals. If there are many types of dangerous chemicals in the identification unit, the ratios of the identified substances are summed up. If the sum is less than one, it is not a hazard installation of dangerous chemicals, otherwise, it is. The design and management of major hazardous and chemical storage facilities are analyzed and discussed with the experience of design for several nuclear power plants. After identification, dangerous chemicals stored and used by nuclear power plants are not major hazard installations. The design scheme for storage facilities is strictly implemented in accordance with standards and codes, and the measures are completed, which meet the increasingly stringent regulatory requirements for hazardous chemicals, and in the meantime the safety of the hazardous chemicals within nuclear power plants is assured.

Key words: nuclear power plant; dangerous chemicals; storage facility; designing



收稿: 2018-04-02, 修回: 2018-07-26, 网络发表: 2018-10-15, Received: 2018-04-02, Revised: 2018-07-26, Published online: 2018-10-15
作者简介: 董亮(1983-), 男, 山东省惠民县人, 硕士研究生, 高级工程师, 核化工专业, E-mail: dl153@126.com; 闫峰, 通讯联系人,
E-mail: 13582149205@163.com.

引用格式: 董亮, 王艺霖, 闫峰. 核电厂危险化学品使用及贮存设施设计. 过程工程学报, 2018, 18(增刊 1): 59-66.

Dong L, Wang Y L, Yan F. Utilization of dangerous chemicals and design points for storage facilities on nuclear power plant (in Chinese). Chin. J. Process Eng., 2018, 18(S1): 59-66, DOI: 10.12034/j.issn.1009-606X.20180113.

核电厂危险化学品使用及贮存设施设计

董亮¹, 王艺霖¹, 闫峰^{2*}

1. 中核集团中国核电工程有限公司, 北京 100804

2. 华北制药股份有限公司倍达分厂, 河北 石家庄 052165

摘要: 核电厂的运行和检修过程用到多种化学品, 其中一部分属于危险化学品。核电厂中, 危险化学品安全与核安全不直接相关, 但其危害可能会与核安全叠加, 从而将危害放大, 因此核电厂危险化学品的设计和管理非常重要。以二代改进型的 M310 压水堆核电厂为例, 结合多个机组的设计实践, 对核电厂中的危险化学品进行分析, 并对主要危险化学品贮存设施的设计和管理进行论述。经辨识, 核电厂贮存使用的危险化学品不属于重大危险源; 贮存设施设计方案严格按照标准规范执行, 结合核电厂的特点设计足够的安全措施, 措施完备并满足危险化学品日益严格的监管要求, 保证了核电厂内的危险化学品的安全。

关键词: 核电厂; 危险化学品; 储存设施; 设计

中图分类号: TL94

文献标识码: A

文章编号: 1009-606X(2018)S1-0059-08

1 前言

危险化学品是指具有毒害、腐蚀、爆炸、燃烧、助燃等性质, 对人体、设施、环境有危害的剧毒化学品和其它化学品^[1]。随着危险化学品的应用越来越广泛, 使用和储存危险化学品的潜在危险也越大^[2]。据统计, 2005 年 4 月至 2008 年 7 月, 我国发生危险化学品事故 1 749 起, 死亡 1 119 人^[3]。一些特别重大事故引起了广泛关注, 如 2015 年 8 月 12 日天津瑞海国际物流有限公司的危险品仓库特别重大火灾爆炸事故, 造成 165 人死亡, 是典型的危化品存储不当造成的事故^[4]。危险化学品的存储安全管理是整个危险化学品使用周期中重要的环节。

核电厂用到多种化学品, 其中一部分属于危险化学品。常规火力发电厂的危险化学品介绍较多^[5-8], 胡铁柱等^[9]对核电厂的建造过程有初步涉及, 但对核电厂运行过程中用到的危险化学品介绍较少。核电厂中危险化学品安全与核安全不直接相关, 但其危害可能会与核安全叠加, 危害更大。例如危险化学品产生的爆炸、燃烧等可能引起核电设备损坏, 并造成核泄漏; 不合理使用还会对核电系统和设备造成过量腐蚀^[10]; 对进入核岛的化学品成分控制不严, 可能导致产生不希望产生的中子活化产物, 引起超出设计的放射性污染, 因此核电厂危险化学品的设计和管理非常重要。基于多年核电设计的实践, 本工作对二代改进型 M310 核电厂中危险化学品的用途及性质进行分析, 介绍了重大危险源的辨识, 并对贮存设施设计和管理措施进行了论述。

2 核电厂危险化学品的用途及种类

目前我国运行 37 台核电机组^[11], 包含压水堆、重水堆堆型, 在建机组还包括高温气冷堆核电机组。运行的核电机组中压水堆有 35 台, 占 94.5%, 其中二代改进型 M310 堆型机组占 85.7%, 应用范围最广, 技术最成熟。此堆型代表性机组有大亚湾核电站、岭澳核电站、福建福清核电站 1~4 号机组、红沿河核电厂及在建的田湾核电站五、六号机组^[12]。

2.1 核电厂系统功能

核电厂主要由三大功能区组成, 分别是核岛(NI)、常规岛(CI)和配套设施(BOP), 每个功能区域由若干系统组成。其中核岛主要包括反应堆厂房和核辅助厂房, 负责使反应堆受控地生产蒸汽; 常规岛包括汽轮机厂房发电设施, 负责将核岛产生的蒸汽转化为电力; 配套设施为核岛、常规岛乃至厂区提供公共服务。

2.2 主要危险化学品

核电厂的三大功能区各自包含多个系统, 根据设计经验, 核电厂正常运行时各系统使用的主要危险化学品分布情况见图 1。从图可以看出, 核电厂正常运行时使用的危险化学品主要有 12 种, 分别是硼酸、硝酸、盐酸、硫酸、联氨、液氨、氢氧化钠、氢氧化锂、次氯酸钠、过氧化氢、氢气和六氟化硫等^[13]。

2.3 其它危险化学品

根据化验分析的需要, 电厂还会用到乙炔、丙烷、甲醇、乙醇、丙酮、石油醚等试剂; 核电厂在检修时, 主螺栓用洗涤剂、油漆及稀释剂, 洗涤剂和稀释剂多数闪点较低, 属易燃, 也属于危险品。核电厂安装阶段也用到一些化学品, 如氧气、乙炔、氮气、氩气等。这些危险化学品使用量很少且非长期使用, 按照

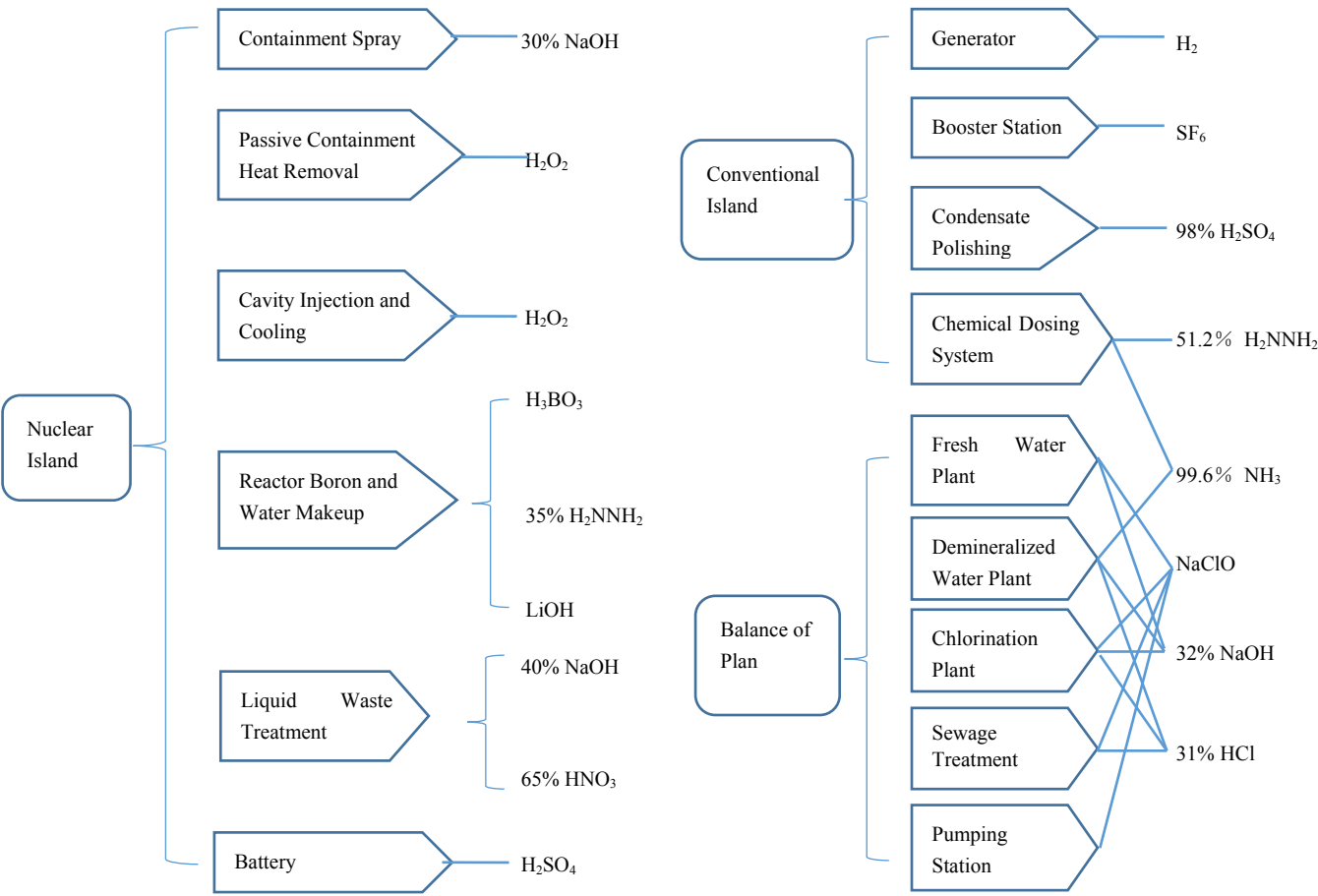


图 1 核电厂使用的危险品化学品

Fig.1 Dangerous chemicals used in nuclear power plant

核电厂的要求使用即可。

2.4 放射性物品

二代及其改进型压水堆核电厂生产运行过程中不会直接用到放射性危险化学品。因存在裂变反应，堆冷却剂(水)存在的裂变产物和活化产物会有一定的放射性，处理堆冷却剂(水)的相关设备系统可能会产生具有一定的放射性物品，检修时会产生部分含放射性核素或被放射性核素污染的物品，如硼酸、氢气、过滤器、工作服等，其放射性核素浓度或比活度如果大于国家确定的清洁解控水平，预期不再使用，则被视为放射性废物。

核电厂设有废物处理系统专门处理产生的放射性废液、废气和固体废物，使其达到能在核电厂中复用或能安全处置的水平，满足《核电厂环境辐射防护规定》。废气、废液经处理后达到《核电厂放射性液态流

出物排放技术要求》(GB14587-2011)后可受控排放，中、高放射性废液用水泥固化。固体废物根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)分类，免于辐射防护监管外的废物用水泥固定，厂内暂存后集中处置。

核电站运行及检修期间使用的 X 和γ射线探伤机以及部分厂区自用密封放射源也具有放射性，这些放射源保存在放射源库中。源库设有足够厚度的墙和屏蔽门，源放在混凝土结构的源柜中，以保持必要的屏蔽，使工作人员受照剂量尽量低，并且需满足《密封放射源及密封γ放射源容器的放射卫生防护标准》GBZ114-2006(2013 复审)的要求。

3 危险化学品的特性

核电厂使用的主要危险化学品种类及其特性见表 1。

表 1 危险化学品种类及性质
Table 1 Category and character of dangerous chemicals

No.	Item	Chemical	Character	Application
1	Flammable gas	Hydrogen	Colorless, odorless, combustible and explosive, explosion limit: 4.1vol%~75 vol%	Cool the generator
2	Toxic gas	Acetylene	Ultra-combustion, explosion limit: 2.8vol%~81vol%	Electric gas welding
3		Ammonia	Colorless, odor gas, explosion limit :15.7vol%~27.4vol%	Adjusting pH
4		Hydrazine	Colorless, hygroscopic combustible liquid, reducing agent, the steam is combustible and explosive, Oxygen-lacking combustion	Dosing system
5		Acetone	Colorless pellucid liquid, with aromatic smell, volatilizable, explosion limit: 2.5vol%~13.0vol%	Degrease
6	Oxidant	Hydrogen peroxide	Colorless liquid, strong basic and corrosive, unstable	Controlling water quality
7	Acidic corrosive	Oleum	Strong acid, highly corrosive substances	Repairment
8		Nitric acid	Strong acid	Dosing system
9		Hydrochloric acid	Strong acid, highly corrosive substances	Chlorination plant
10	Alkaline corrosives	Sodium hydroxide	White powder , diffluent, strong basic and corrosive	Controlling water quality
11		Lithium hydroxide	White powder , diffluent, strong basic and corrosive	Controlling water quality
12	Other corrosives	Sodium chlorate	Unstable, release to toxic gas chlorine	Fresh water plant, chlorination plant
13	Other corrosives	Boric acid	Non flammable, irritant smell, unstable, release to toxic gas	Adjust reactivity
14	Other corrosives	Sulfur hexafluoride	Inert gas	Booster station

4 重大危险源辨识

根据《危险化学品重大危险源辨识》^[14]、《危险货物物品名表》^[15]和《化学品分类和标签规范第 18 部分：急性毒性》^[16]规定确定核电厂中危险化学品重大危险源。重大危险源评价用该辨识单元内各项辨识物质的存在量(q)与临界量(Q)之比表征，如果辨识单元内存在的危险化学品为多品种时，则将各项辨识物质的比值累加求和，若之和小于 1，则不属于重大危险源，否则属于重大危险源。

辨识单元内涉及的化学品有硼酸、盐酸、硫酸、硝酸、氢氧化钠、氢氧化钾、氢氧化锂、水合联氨、次氯酸钠、六氟化硫、磷酸三钠、氢气、氯气、液氮、二氧化碳、轻柴油、抗燃油、润滑油及润滑脂、

变压器油、制冷剂等。检修过程中使用的材料、取样化验和实验室分析药剂有氧气、乙炔、氮气、氩气、氦气、甲醛、甲醇、甲苯、乙醇、丙酮，贮存/使用量较少。

以某核电厂设计为例，使用的主要原辅材料中属于危险化学品重大危险源辨识物质的有氢气、液氨、联氨、浓硫酸、氯酸钠、过氧化氢以及甲醛、甲醇、乙醇、乙炔、丙酮、丙烷、氯气、甲苯、氧气等。辨识单元(半径 500 m 范围内，一般为双机组)内存在主要危险化学品的数量和《危险化学品重大危险源辨识》规定的临界量^[17-20]、多个核电项目各项辨识物质的设计存在量与临界量之比 q/Q ，设计存在量与临界量之比 q/Q 的总和见表 2， q/Q 总和小于 1，该核电厂中危险化学品未构成重大危险源。

表 2 某核电厂重大危险源评价结果
Table 2 A nuclear power plant's identification of major hazard installations

No.	Chemical	Critical value, Q/t	Existed quantity, q/t	q/Q	No.	Chemical	Critical value, Q/t	Existed quantity, q/t	q/Q
1	Hydrogen	5	0.412	0.0824	9	Chlorine	5	Microscale	—
2	Ammonia	10	2.2	0.22	10	Acetone	500	0.1	0.0002
3	Hydrazine	500	0.875	0.00175	11	Toluene	500	0.1	0.0002
4	Oleum	100	43.04	0.4304	12	Sodium Chlorate	100	1.08	0.0108
5	Formaldehyde	5	0.04	0.008	13	Oxygen	200	0.126	0.00063
6	Acetylene	1	0.0943	0.0943	14	Hydrogen Peroxide	200	0.05	0.0025
7	Methanol	500	0.1	0.0002	15	Propane	200	0.5	0.0025
8	Ethanol	500	0.1	0.0002			Total		0.85

即使设计危险化学品不是重大危险源，运营单位仍需根据实际贮存和使用情况，进一步加强危险化学品重大危险源增强辨识工作，制定并严格执行相应的管理措施，进一步优化辨识工作方法^[21]。鉴于现有危险化学品存储规定仍不完善，缺少对混储禁配工作的指导^[23,24]，应加强对危险化学品管理^[4]；合理设计存储设

施，提高工作人员的安全意识；在应急预案中考虑危险化学品事故和处置措施，并定期演练^[22-26]，确保即使发生事故也可安全处置。

5 危险化学品的储存设施设计

各贮存设施在设计上严格按照相应的法规、国家

和地方标准规范，并基于经验，根据不同化学品的特性设计多层次的安全设施，严格按程序完成了职业安全文件的审查，保证了危险化学品贮存设施的安全。运行的电站制定了严格的管理措施，保证了生产安全运行。综合核电厂化学品使用区域的特点，进行危险化学品分区储存。氢气主要储存于氢气贮存及分配站，液氨和浓硫酸主要贮存于除盐水厂房、凝结水精处理厂房和化学加药间，氯酸钠主要贮存于淡水厂内，其它化学

品贮存于化学试剂库。本工作对化学试剂库和氢气贮存及分配站的设计特点作重点分析，其余厂房的危化品车间设计思路和措施与之类似。

5.1 适用于危险化学品仓储的法规 and 标准

危险化学品的储存和储存设施设计要依据国家法规和标准的规定，我国现行的涉及危险化学品储存安全管理的法律、法规、标准和规范如表 3 所示。

表 3 涉及危险化学品安全管理的法律、法规、标准和规范
Table 3 Regulations, standards, codes and standards related to the safety management of hazardous chemicals

No.	Name	Version
1	Regulations of safety management on dangerous chemicals	Decree of the state council No.344
2	Regulation on management of drug-Making chemicals	Decree of the state council No.445
3	Regulation on fire protection measures of warehouse	Decree of the ministry of public security No.6
4	Code for fire protection design of buildings	GB50016-2014
5	Code for design protection of strctures against lighting	GB50057-2010
6	Code for design of electrical installations in explosive atmospheres	GB50058-2014
7	Operation conditions and technical requirements for enterprises hadling dangerous chemicals business	GB18265-2000
8	Rule for storage of chemical dangers	GB15603-1995
9	Specifications for storage and preservation of toxic goods	GB17916-2013
10	Specifications for storage and preservation of corrosive goods	GB17915-2013
11	Specifications for storage and preservation of combustible and explosive goods	GB17914-2013
12	Identification of major hazard installations for dangerous chemicals	GB 18218-2009
13	Vocational criteria for warehousing worker	GB/T21070-2007
14	Requirement for warehousing service quality	GB/T21071-2007
15	Grade for general warehouse	GB/T21072-2007

5.2 化学试剂库

化学试剂库用于贮存两机组所需的各类化学试剂。按存储物品的火灾危险性^[27]分为三个专用库：化学试剂库 1(甲类库)、化学试剂库 2(乙类库)和分类库。化学试剂库 1 主要存放易燃易爆、腐蚀性、有毒有害化学物品，化学试剂库 2 主要存放具有腐蚀性的酸碱类及性质稳定不易挥发、无爆炸危险的液体和树脂、惰性等化学物品。其他物品按常用化学危险品贮存通则分类存放。

5.2.1 设计措施

(1) 布置在远离主要生产作业区、人员密集区和主要的核设施，间距满足设计规范要求；(2) 按物品性质分成独立的贮存间，甲类库设置泄压措施；(3) 对放易燃易爆的房间进行防雷、防爆、防静电设计，电气及仪控设备均采用防爆型；(4) 设置可燃/有毒气体探测系统并与事故通风系统连锁；(5) 化学品按特性分类存储，便于危险化学品的防控和管理；(6) 化学试剂库设置机械通风、自动灭火系统；设置高窗可避免阳光直射，地面和墙面应根据存放物品的性质进行处理，酸类库应考虑耐酸地面和耐酸墙面；(7) 化学试剂库中存放酸、碱等液体类化学试剂的房间设计防流散措施；(8)

库房地面设置排水沟，坡向试剂库外设置废液收集池；(9) 配置喷淋洗眼器和洗手池及个人防护用品，以保证人员在接触有毒有害、腐蚀性化学品后能进行有效的应急处理。

5.2.2 主要管理措施

控制各类化学品贮存量，使其不超过危险化学品重点危险源控制指标；各房间外张贴化学品作业场所安全警示标志，指出存放物品的特性；工作人员在从事相应的操作时要带防酸碱手套、防护服、防护口罩和防护鞋。

5.3 氢气贮存及分配站

氢气贮存及分配站有火灾、爆炸危险，按甲类火灾危险车间设计。

5.3.1 设计措施

(1) 设计为单层独立构筑物，并布置在厂区常年最小频率风向的下风侧，远离有明火或散发火花的场所；(2) 布置在远离人员密集地区、主要交通要道的位置；(3) 与其它建筑物有足够的防火间距；满足《氢气站设计规范》的相关要求；(4) 建在远离重要核设施、含易燃易爆品子项和人员密集场所；(5) 设为独立的棚区，耐火等级为二级，棚顶为轻质结构并在棚顶区

域设计必要的泄氢措施；(6) 进行防雷、防爆、防静电设计，电气、仪控及通信设备均采用防爆型；(7) 设有氢气自动检测及报警装置。

5.3.2 主要管理措施

氢气贮存及分配站按无人值班设计，在出入口应设置明显的“未经许可，不得入内”、“禁止烟火”、“禁止带火种”、“禁止使用无线通信”等禁止标志。运行人员必须持证上岗，严格执行操作规程，定期对氢气储罐和分配框架、控制柜、仪表、阀门、管道等进行检修、维护和保养。设备运行时，进入该区域的巡检人员需穿戴防静电服装，且不允许携带手机及火种。

6 放射性物品的处理贮存设施

放射性物品是核电厂中特殊的危险物品，其处理和贮存比危险化学品更严格。放射性物品主要有三类：发生过核反应的核燃料，一般指乏燃料；处理堆冷却剂(水)和相关设备及检修产生的二次废物；射线探伤机及部分厂区自用密封放射源。核燃料位于压力容器或者乏燃料水池中，有大量水包围；射线探伤机和厂区放射源保存于源库中；处理堆冷却剂产生的废物由废物处理系统处理。带有放射性废物的处理系统主要包括废液处理系统、废气处理系统和固体废物处理系统。

6.1 放射性物品处理工艺

废液处理系统包括收集和净化废液，使其达到能在核电厂中复用或能安全处置的水平。废液的放射性成分随来源不同而不同，通常按照预计成分进行分类和处理，分别采用过滤、絮凝沉降、蒸发加固化等多种方法，将放射性废液最小化，废气达到安全排放要求。

废气处理系统分为含氢废气子系统和含氧废气子系统。含氢废气是指从一回路系统冷却剂中脱除的气体，放射性较高(主要含氢、氮和放射性裂变气体氦、氡和碘等)，氢气中不能混入外部空气，否则易燃易爆，需单独处理，一般贮存滞留衰变后过滤排放。近几年发展出了新的处理工艺^[28-31]，如活性炭吸附、氢氧复合处理等方式，运行压力低，安全性好，有一定的优势，劣势是设备复杂性提高，固体废物体积增加。含氧废气是受放射性污染的空气，取样、疏排、废液处理系统排气，采用加热干燥然后过滤的方式处理。

固体废物处理系统用于收集、贮存和处理机组运行和检修时产生的放射性固体废物，使其达到贮存和处置要求。固体废物主要有以下五种：离子交换器树脂、蒸发器的浓缩液、废过滤器滤芯、废活性炭、其它固体废物(如小金属块、工作服、抹布和手套等)，根

据处理对象不同，分别采用去污、超压、水泥固化的方法，水泥固化选用废液处理系统的浓缩废液，同时将废液与固体废物固化，将最终产物体积最小化。

6.2 放射性物品处理贮存设施的设计特点

放射性物品储存或处理不当可能破损、泄漏，导致放射性物质扩散或人员承受不必要的电离辐射，影响健康。此类储存设置需要满足安全要求，有卫生出入口，贮存空间足够大，大量设置生物防护装置，如乏燃料水池、厚墙/池壁、盖板、重混凝土及源库的屏蔽门、墙。工艺布置设计多采用远距离操作，如使用远传阀门、机械手、遥控数控吊车等机构，避免近距离接触放射性物品。

7 结 论

对核电厂运行中用到的化学品进行了分析，确定了核电厂各系统中使用的危险化学品种类，通过重大危险源的辨识，认为现有核电站内部危险化学品的种类和数量不构成危险化学品重大危险源。根据核电厂中危险化学品的特点，指出危险化学品储存设施的设计特点。危险化学品贮存设施均由资质全面的综合甲级设计单位设计，严格遵守了法规、国家和行业标准、规范，结合核电厂的特点设计足够的安全措施，如危险化学品存储设施远离主要的核设施，在作业场所设置相应的监测、通风、自动控制、防晒、防火、灭火、防爆、泄压、防雷、防静电、防腐、防泄漏及防护围堤或隔离操作等，设计方案满足监管要求，并最大限度保证放射性废物最小化。运营方根据实际的贮存和使用情况，增强危险化学品重大危险源辨识工作，实施相应的管理措施，加强对危险化学品的管理，并在应急预案中考虑危险化学品事故处置措施，并定期演练，确保即使发生事故也可安全处置。只有在设计和管理上实施各项有效措施，使危险化学品得到可控管理，满足监管要求，才能保证危险化学品使用 and 贮存的安全。

参考文献

- [1] 陈浩，徐纪良. 国务院公布《危险化学品安全管理条例》(2011) [J]. 职业卫生与应急救援, 2011, 29(2): 63.
Chen H, Xu J L. The State Council promulgated the regulations on the safety management of hazardous chemicals (2011) [J]. Occupational Health and Emergency Rescue, 2011, 29(2): 63.
- [2] 陈家强. 危险化学品泄漏事故及其处置 [J]. 消防科学与技术, 2004, 23(5): 409-412.
Chen J Q. Hazardous chemicals leakage accident and its disposition [J]. Fire Science and Technology, 2004, 23(5): 409-412.
- [3] 赵来军，吴萍，刘寅斌. 我国危险化学品安全监管网络整合研究 [J]. 中国安全科学学报, 2009, 19(2): 47-52.
Zhao L J, Wu P, Liu Y B. Research on the integration of hazardous

- chemical safety supervision network in China [J]. China Safety Science Journal, 2009, 19(2): 47–52
- [4] 俞翔. 危险品仓库特大火灾爆炸事故浅析及启示 [J]. 消防科学与技术, 2017, 36(1): 116–119.
- Yu X. Analysis and revelation of super fire and explosion accident in dangerous goods storage [J]. Fire Science and Technology, 2017, 36(1): 116–119.
- [5] 王义好. 火电厂常用危险化学品的安全管理 [J]. 电力安全技术, 2016, (6): 13–16.
- Wang Y H. Safty management of dangerous chemicals in thermal power plants [J]. Electric Safety Technology, 2016, (6): 13–16.
- [6] 沈瑛. 火力发电厂火灾爆炸危险性分析及评价研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2016: 16.
- Shen Y. Analysis and evaluation of fire explosion hazard in thermal power plants [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2016: 16.
- [7] 文佳艳, 陈岩. 核电厂危险化学品安全管理提升 [J]. 科技创新导报, 2016, (9): 99–102.
- Wen J Y, Chen Y. Nuclear power plant dangerous chemical safety management improvement [J]. China Education Innovation Herald, 2016, (9): 99–102.
- [8] 耿春娟. 火力发电机组危险化学品的安全管理 [J]. 科协论坛 (下半月), 2012, (11): 83–84.
- Gen C J. Safety management of dangerous chemicals for thermal power generating units [J]. Science & Technology Association Forum, 2012, (11): 83–84.
- [9] 胡铁柱, 吴兴强. AP1000 核电建设项目危险化学品应用风险分析及管控对策 [J]. 中国公共安全(学术版), 2015, (4): 21–26.
- Hu T Z, Wu X Q. Risk analysis and control strategies for application of hazardous chemicals in AP1000 nuclear power construction project [J]. China Public Security (Academy Edition), 2015, (4): 21–26.
- [10] 张兴田. 核电厂设备典型腐蚀损伤及其防护技术 [J]. 腐蚀与防护, 2016, 37(7): 526–533.
- Zhang X T. Corrosion damage cases and corrosion protection technology of components in nuclear power plant [J]. Corrosion & Protection, 2016, 37(7): 526–533.
- [11] 卢烈. 我国运行核电厂 WANO 业绩指标 [J]. 中国核电, 2017, (1): 152–153.
- Lu L. The performance indicators of running nuclear power plants in China [J]. China Nuclear Power, 2017, (1): 152–153.
- [12] 徐侃. 重水堆核电机组在当前核电市场的发展战略 [D]. 上海: 上海交通大学, 2009: 20.
- Xu K. Development strategy of candu reactor plant in present nuclear power generation market [D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2009: 20.
- [13] 王芳. 核电厂的重大危险源辨识步骤 [J]. 安全, 2012, (8): 44–46.
- Wang F. Major hazard source identification steps for nuclear power plants [J]. Safety, 2012, (8): 44–46.
- [14] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 危险化学品重大危险源辨识: GB 18218-2009 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009: 7.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, China National Standardization Management Committee. Identification of major hazard installations for dangerous chemicals: GB 18218-2009 [S]. Beijing: China Standard Press, 2009: 7.
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 危险货物物品名表: GB 12268-2012 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2012: 9.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, China National Standardization Management Committee. Lists of dangerous goods: GB 12268-2012 [S]. Beijing: China Standard Press, 2012: 9.
- [16] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 化学品分类和标签规范 第 18 部分: 急性毒性: GB 30000.18-2013 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2013: 7.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, China National Standardization Management Committee. Rules for classification and labelling of chemicals—Part 18: acute toxicity: GB 30000.18-2013 [S]. Beijing: China Standard Press, 2013: 7.
- [17] 国家安监总局办公厅. 关于印发危险化学品建设项目安全设施设计专篇编制导则的通知 [J]. 林业劳动安全, 2013, 26(2): 3–8.
- General Office of the State Administration of Work Safety. Circular on printing and distributing safety facility design part preparation guideline for the construction projects of hazardous chemicals [J]. Forestry Labour Safty, 2013, 26(2): 3–8.
- [18] 中国核电工程有限公司. 福建福清核电厂一期工程职业安全专篇 [R]. 2008: 6.
- China Nuclear Power Engineering Co., Ltd. Occupational safety of the first phase of Fujian Fuqing nuclear power plant [R]. 2008: 6.
- [19] 中国核电工程有限公司. 秦山核电站扩建工程职业安全专篇 [R]. 2008: 12.
- China Nuclear Power Engineering Co., Ltd. Occupational safety of Qinshan nuclear power station expansion project [R]. 2008: 12.
- [20] 中国核电工程有限公司. 田湾核电站扩建工程 5、6 号机组职业安全专篇 [R]. 2015: 7.
- China Nuclear Power Engineering Co., Ltd. Occupational safety of the unit 5/6 of Tianwan nuclear power plant [R]. 2015: 7.
- [21] 王永强, 刘承明. 危险化学品重大危险源辨识中的问题和安全对策 [J]. 中国安全生产科学技术, 2013, 9(6): 115–119.
- Wang Y Q, Liu C M. Problems and countermeasures in the major hazard installations identification of hazardous chemicals [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2013, 9(6): 115–119.
- [22] 李艳华, 梁立达, 田宏. 危险化学品仓储存在的问题和安全对策. 工业安全与环保 [J]. 2009, 35(2): 60–62.
- Li Y H, Liang L D, Tian H. Problems existing in storage of dangerous chemicals and safety countermeasures [J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2009, 35(2): 60–62.
- [23] 张金梅, 郭璐. 国外危险化学品储存管理研究及启示 [J]. 安全、健康和环境, 2016, 16(10): 52–56.
- Zhang J M, Guo L. Study on storage management of foreign hazardous chemicals and its enlightenment [J]. Safety Environment and Health, 2016, 16(10): 52–56.
- [24] 李立强. 危险化学品的安全存储 [J]. 中国公共安全(学术版), 2011, (3): 78–80.
- Li L Q. Secure storage of hazardous chemicals [J]. China Public Security (Academy Edition), 2011, (3): 78–80.
- [25] 方来华. 危化品生产储存使用全过程安全监控与监管系统 [J]. 中国安全生产科学技术, 2013, 9(7): 114–117.
- Fang L H. Safety system for monitoring and management on

- production, storage and use of hazardous chemicals [J]. *Journal of Safety Science and Technology*, 2013, 9(7): 114–117.
- [26] 王晓雨. 基于 TRIZ 理论的危险化学品储存改进方案 [J]. *天然气与石油*, 2017, 35(2): 107–110.
- Wang X Y. A improved method for storage of dangerous chemicals based on the TRIZ theory [J]. *Natural Gas and Oil*, 2017, 35(2): 107–110.
- [27] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 建筑设计防火规范: GB 50016-2014 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2014: 7.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, China National Standardization Management Committee. Code for fire protection design of buildings: GB 50016-2014 [S]. Beijing: China Standard Press, 2014: 7.
- [28] 陈良, 饶仲群. 加压贮存和活性炭吸附在核电站放射性废气处理中的应用 [J]. *中国核电*, 2009, 2(3): 262–266.
- Chen L, Rao Z Q. Application of pressurized gas storage system and activated carbon sorption system in gaseous radioactive waste processing for NPPs [J]. *China Nuclear Power*, 2009, 2(3): 262–266.
- [29] 倪依雨, 王鑫, 谈遗海, 等. 核电厂放射性废气处理系统专用活性炭的性能研究 [J]. *核安全*, 2014, 13(3): 73–77.
- Ni Y Y, Wang X, Tan Y H. Study on properties of special purpose activated carbon used in gaseous radwaste system [J]. *Nuclear Safety*, 2014, 13(3): 73–77.
- [30] 张冰. 俄供滞留床活性炭性能影响因素分析与研究 [J]. *电工技术*, 2017, 3(A): 127–141.
- Zhang B. Study on influence factors of performance of activated carbon for retention beds supplied by Russia [J]. *Electric Engineering*, 2017, 3(A): 127–141.
- [31] 李琦, 苟全录, 余小东. 海阳核电厂(AP1000 机组)放射性废物管理系统建设探讨 [J]. *辐射防护*, 2018, 38(1): 79–87.
- Li Q, Gou Q L, Yu X D. Discussion on construction of a radwaste management system in Haiyang Nuclear Power Plant (AP1000) [J]. *Radiation Protection*, 2018, 38(1): 79–87.