

福岛核事故后放射性废物的影响及 处置对策

张琼, 王博, 王亮, 张春明, 刘福东

环境保护部核与辐射安全中心, 北京 100082

摘要 福岛核事故中, 氢气爆炸破坏反应堆厂房顶盖, 导致大量放射性物质外泄, 造成周边环境大面积污染。事故后续处理过程中还产生大量二次污染物。因此, 福岛核事故后放射性废弃物呈现数量大、范围广的特点, 给后续核污染的治理带来巨大挑战。本文介绍福岛核事故所造成的环境污染和厂内污染情况, 分析污染种类、特点、应对措施等, 总结该事故中放射性废弃物处置对策及其对中国核电发展的启示。

关键词 福岛核事故; 放射性废物; 环境影响; 处置对策

中图分类号 TL941

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.33.011

Impact and Disposal Measures of Radioactive Waste After Fukushima Nuclear Accident

ZHANG Qiong, WANG Bo, WANG Liang, ZHANG Chunming, LIU Fudong

Nuclear and Radiation Safety Center, Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, Beijing 100082, China

Abstract During the Fukushima nuclear accident, a huge amounts of radioactive materials leaked out of the reactor building shell and polluted a large surrounding area. Furthermore, the secondary pollutants produced during the subsequent processing are still active. Therefore, the radioactive wastes in the Fukushima nuclear accident have the characteristics of huge amounts and wide range. It remains a serious challenge to the disposal measures. This paper introduces the environmental pollution after the accident, especially in the site of Fukushima nuclear power plant. The classification, characteristics and disposal measures of the radioactive wastes are analyzed, respectively. Suggestions on disposal measures of radioactive wastes and the inspiration on China's nuclear power development are summarized.

Keywords Fukushima nuclear accident; radioactive waste; environmental impact; countermeasures

放射性废物为含有放射性核素或被放射性核素污染、活度浓度大于清洁解控水平、预计不再利用的物质^[1]。放射性废物通过释放射线和释放热能等对环境造成物理、化学和生物毒性危害^[2]。放射性废物来源包括核燃料生产过程、反应堆运行过程、核燃料处理过程及其他如核武器生产试验和相关医院、学校、科研单位等所排出的含有放射性的物质^[3]。对于核电厂运行过程中所产生的废物, 其处理流程如图1所示, 依据是否含有放射性, 进行不同的处理或再利用。核电厂发

生事故后, 产生的废物一般处于图中红圈所示的位置, 随后依照核电厂处理废物的流程进行处理^[4]。对于放射性废物的处理流程, 如图2所示^[5]。

2011年3月11日, 日本东海岸爆发大地震, 地震引发的15.5 m的海啸波浪席卷了福岛第一核电站, 导致全厂完全断电, 失去最终热阱。3月12日, 1号机组反应堆厂房发生氢气爆炸; 3月13日, 3号机组堆芯失去冷却, 在第2天反应堆厂房发生氢气爆炸; 3月14日2号机组失去冷却, 第2天安全壳内

收稿日期: 2014-08-04; 修回日期: 2014-09-26

基金项目: 国家科技重大专项(2013ZX06002001)

作者简介: 张琼, 高级工程师, 研究方向为辐射防护、环境影响评价, 电子信箱: zhangqiong@chinansc.cn; 王博(通信作者), 博士, 研究方向为辐射防护与环境保护, 电子信箱: wangbo@chinansc.cn

引用格式: 张琼, 王博, 王亮, 等. 福岛核事故后放射性废物的影响及处置对策[J]. 科技导报, 2014, 32(33): 79-86.

2 福岛核事故后环境废物特点

福岛核事故发生后,产生的放射性废物包括2大部分。

1) 环境放射性废物。主要是福岛核事故中由于爆炸产生的气态放射性物质对周边环境造成的污染,其特点是范围广、面积大、浓度低。对这部分放射性废物处置,如瓦砾、路面等表面一般采用清洗法,放射性废弃物最终会沉积到上下水的污泥中;对一般的可燃废弃物及树木森林等采用燃烧法,放射性物质会浓集到烧灰中;这部分放射性废物还包括由地震海啸产生的灾害废物。因此环境污染物主要为上下水污泥、一般的废弃物及烧灰和灾害废物。2) 核电厂内部产生的废物。主要指福岛爆炸所产生的瓦砾、燃料碎片、废液处理所产生的二次废物、需要拆解的废物等,其特点是范围小、浓度高、处理难度大。

对于福岛核事故产生的含有放射性物质,其放射性活度浓度、放射性比活度或污染水平不超过清洁解控水平的环境废物,在对其进行处理浓缩后,浓缩物的放射性比活度超过审管部门规定的清洁解控水平后,也需进一步处理。

2.1 上下水污泥

福岛核事故后,在日本关东、东北大范围的污水处理厂污泥中,都检测出放射性物质^[18]。放射性物质的来源为雨水冲刷街道地表等被放射性物质污染的表面,造成放射性物质浓缩转移到污泥中。对污泥进行浓缩处理后,放射性物质也将进一步浓缩。在日本,普通污泥一般用于水泥等建筑材

料,或者用于制作肥料的原料。但对于含放射性的污泥,再利用比较困难,只能采用填埋的方法,其处理量高达8.3万t^[19]。因此,后续污泥处理是个难题。

2.2 一般的废物及烧灰

在日本东北部,对一般废弃物(如生活垃圾)采用焚烧处理,从烧灰中也检测出放射性物质铯,除福岛外有6个县共26个垃圾处理装置的烧灰中,放射性物质的比活度高达8000 Bq/kg^[20]。如此高比活度的放射性物质,可能是由于燃烧草木类及附着在其上的土壤等因素所致。因此,烧灰的保存如同浓缩的污泥处置一样,都是难以解决的问题。

2.3 灾害废物

受东日本大地震及海啸的影响,产生了许多灾害性废物,如岩手、宫城、福岛等地,受放射性物质沉降影响,上述地区内的灾害废物大多为放射性废物,因此对于这些废物的处理,必须进行监测分类处理。另外,除去包含放射性物质的草木及土壤等,因处理量大,选择合适处理方法也极为重要。

3 福岛核事故后厂内废物

福岛核事故发生后,核电厂内产生大量放射性废物。如图4所示^[4],这些放射性核素主要来自福岛1~3号机组爆炸后释放出的核素;放射性核素主要的存在形式是附着在物体的表面,废物产生量巨大,所释放核素种类及组成难以确定。

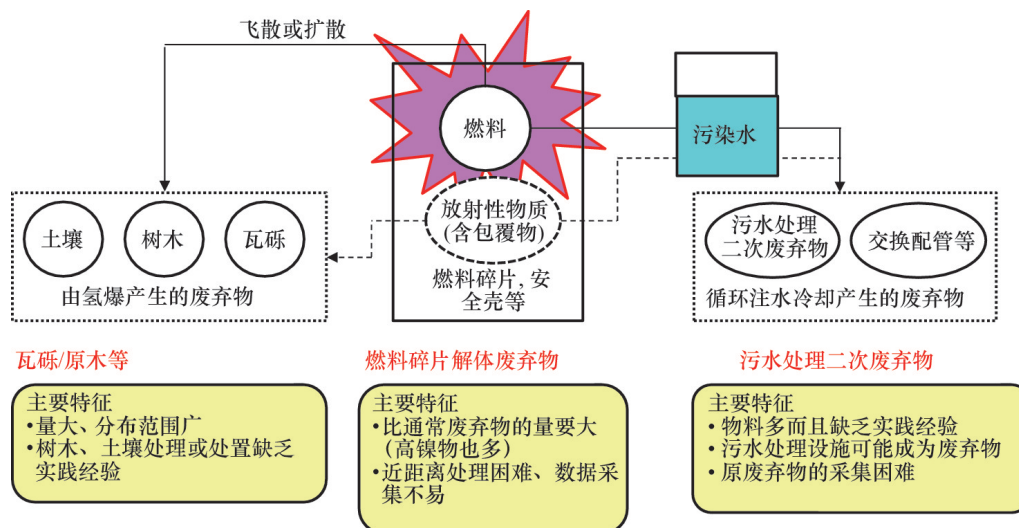


图4 福岛核事故后厂内废物的特点

Fig. 4 Characteristics of radioactive wastes of nuclear power plant after Fukushima nuclear accident

3.1 放射性废水产生的二次废物

在处理废水的过程中会产生大量的放射性废物。如用沸石吸附放射性核素铯,不论是用吸附塔进行吸附,还是用过滤装置进行净化,都会产生大量废物。这些废物具有放射性核素含量高,且吸附饱和后不能重复使用的特点。一方面,根据污水处理设施设计资料信息,可以估算铯和铯的吸

附量,但吸附塔上部结构内的沸石不易取出,因此这部分废物的采样分析比较困难。另一方面,污水处理系统的污水一般都是集中采样分析,在这种情况下,短半衰期的核素已发生衰变,只能分析半衰期较长的核素。因此,有必要进行进一步分析探讨此类分析结果的准确和全面。

另外,从2012年2月开始,东京电力公司引进多核素去

污设备,但同样会产生二次污染物。从长远角度看,采用循环水对堆芯进行冷却,减少污染水量,同时引进高效的污水处理新设施,可能是较好的解决办法。

3.2 瓦砾、砍伐树木产生的废物

由于氢气爆炸,大量放射性物质释放到空气中,导致大量的瓦砾、树木和土壤被污染。主要特点为:1)放射性污染物的量非常庞大;2)所砍伐的树木、土壤都含有大量的有机物,而日本在这方面的处理经验有限;3)厂内不同区域放射性活度差别比较大,导致所污染的废物放射性含量也不同。

瓦砾的放射性含量浓度较高,但清除相对容易,日本原子能研究开发机构(JAEA)对多种瓦砾和土壤中的核素钚进行分析^[21]。

3.3 燃料碎片/分解废物

燃料碎片指的是存在于安全壳内的污染物质,也适用于

通用的放射性废物处理措施。与普通废物比较,此次福岛核事故后的燃料碎片存在污染范围广泛、污染量大的特点。事故后,安全壳内的操作都采用遥控机器人完成,无法测得建筑物内部空间剂量率的相关数据。另外,取出燃料碎片,可以初步进行壳内去污工作,其他工作由于安全壳内的放射性剂量较高,只能在获取相关堆芯数据后再开展相关工作。

4 环境废物的处置方法

放射性物质的去除目的,在于将核事故造成的污染对人体健康的影响降至合理可行且尽量低。因此,日本政府、当地团体和核能相关组织采用了不同的处理方法,如表2所示^[17]。此外,对于低浓度的污染废物,采用一般处理方式。

由于环境放射性废物涉及范围广泛,且与人类生活息息相关,如农田、森林和水域,是政府部门和地方团体关注的重点。

表2 日本福岛核事故后相关机构采取的应对措施

Table 2 Treatment methods on radioactive wastes by the local organization after Fukushima nuclear accident

实施主体	应对措施
日本政府	根据不同地区废物特点采取不同的去污措施,包括土壤去污;主要负责污染废物对策内的废物处理和指定废物的处理
地方团体	根据不同地区废物特点采取不同的去污措施,也包括土壤去污;主要负责特定的一般废物、特定的工业废物的处理(现场、村镇及污染排放)
核电业主	核电业主负责厂内废物的处理、厂外扬尘的阻止及混凝土碎片等废物的处理,土壤的去污等

1) 农田。农田放射性物质是否超标,直接决定了粮食作物的可信度。日本在福岛核事故后,分别采取铲土修复、深翻土壤、淋洗抽取、添加固化剂、草皮剥除、植物种植修复等一系列方法^[22,23],取得了一定的修复效果。对于铲土去污法由于放射性核素集中在表层,去污效果明显,但存在所铲除土壤的存放、减容等后续问题;对于植物修复法,由于受生产周期的限制,效果不佳,还有待后续研究和关注。

2) 森林。木材、蘑菇等森林产物和野生动植物受污染后易造成长期污染常令人担忧。切尔诺贝利事故后,苏联当局一方面积极采取除污措施,另一方面限制民众在森林中进行活动,同时做好防火对策管理。福岛核事故发生后,国际原子能机构(IAEA)曾质疑其污染防治的成本、对森林系统的影响、森林去污实施前公众辐射剂量评价等问题^[24]。日本政府通过对落叶的收集处理,树枝的剪切等,都一定程度上减少了其对周边居民的辐射剂量。对于生活圈以外的森林,则要求以日本政府为主导进行统一去污。另外,树木中放射性活度浓度的累积是一个长期的过程,需经过一段时间后才可能达到其浓度峰值。

3) 水域。由于雨水冲刷等作用会造成物体表面的放射性物质进入到水域中,另外核电厂低浓度废水释放到大海中,也会造成环境的污染。因此不仅要沉积在河床底部的

沉积物进行连续监测,还应关注海洋水产等生态系统的变化状况。

5 厂内废物的处理方法

5.1 放射性废水

由于海啸的作用,堆芯冷却用水混入大量的海水和硼酸水。对于被污染的用水,一部分净化后用作堆芯冷却用水,剩下的部分则放入储存罐进行储存。在污染水净化过程中,由于采用多种装置来移除铯等多种放射性核素,因此会产生多种二次废物。这些二次污染物在事故处理的中后期将依据放射性比活度检测情况,进行后续的分类处理。如前述的吸附剂及被污染的管道、容器等设备器材。用于堆芯冷却后被污染的放射性污水经过油水分离装置,铯吸附装置,除污装置,水淡化装置,最终可得到净化的淡水。由此衍生的淡水净化有多种方式。福岛核电厂采用的处理流程如图5所示^[4]。

到目前为止,该处理装置已经处理了数千立方米的污水。最初所采用的流程为铯吸附装置和去污装置串联使用,后接淡水净化装置。目前,去污装置已停止使用,铯第一吸附装置和第二吸附装置并列使用,铯去除后接淡水净化装置。淡水净化装置采用的是反渗透(RO)膜法,经过RO膜得到的淡水送入储罐进行再利用,经过RO膜得到的浓缩盐水,

经过蒸发浓缩后,上清液送入淡水储罐,浓缩液储存在钢制储罐内,置于地下保存。

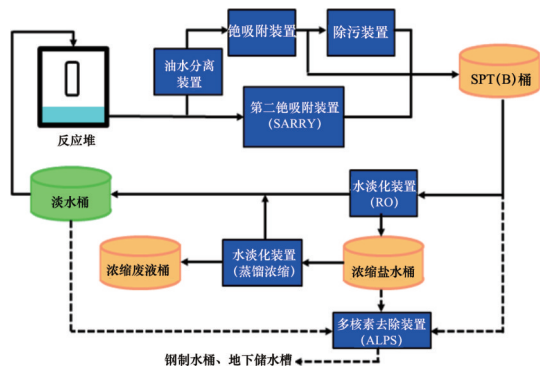


图5 福岛核事故后厂内污水处理系统

Fig. 5 Radioactive sewage treatment system after Fukushima nuclear accident

5.2 瓦砾、砍伐树木和土壤

5.2.1 瓦砾

瓦砾主要是爆炸产生的气载放射性核素经过干湿沉降附着在其表面而导致的污染。另外一部分是用水对相关设备和堆芯进行冷却,在此过程中会伴有挥发性的放射性核素随同水蒸气一起释放出来后通过沉降附着在瓦砾表面。瓦砾污染存在范围广,污染途径和状况复杂,瓦砾上放射性核素的浓度范围相差较大等特点。另外,瓦砾上也会附着一些盐分、飞散阻滞剂,以及硼酸和油分等混合物。据统计,截止2012年12月27日,福岛第一核电站内受污染的混凝土和金属类的混合物高达59000 m³。随着厂房重建、瓦砾飞散和建筑物拆解,产生的废物量将会持续增加,因此对瓦砾的保管、减容、处理流程等都需进行关注。

金属类的放射性废物主要是不锈钢、碳素钢及铝合金、铅等。另外,也包括诸如电缆的外包(如PVC)等有机化合物。金属类的放射性物质与混凝土不同,放射性物质渗透到内部的可能性较小。

由于瓦砾废物数量众多,污染范围比较大,从减容的角度出发,应考虑再利用的可能性。

5.2.2 砍伐树木

由于场地有限,在增设污水储存装置及对地基进行去污的过程中,需要对福岛第一核电厂址附近的树木进行砍伐。截止到2012年12月27日,所砍伐的树木体积达72000 m³。福岛第一核电站内的植被类型主要为常青树,经检测,茎叶部的放射性活度浓度大于主干。对于砍伐的树木,可利用微生物对其进行长期分解和腐化。随着福岛核电厂场地的改造,砍伐树木的量也有可能进一步增加,但同时由于植被的腐殖化会导致树木总量减少,这就要均衡考虑处理量和安置场地。此外,由于微生物腐化是发热反应,还要注意火灾发生的可能性。

5.2.3 土壤

随着核岛堆体解体,场地改造等工程推进,针对福岛厂区内的表层土、植被、腐叶土层内的放射性物质,将会逐步开展去污工作,其活度浓度的变化情况应长期关注。但目前尚难以估算其产生量。对核电厂操场等地的土壤采样分析确认了核素种类众多,估计将会采用植物吸附法进行降污处理,同时,还应防治土壤表层二次扬尘的扩散。另外,还要考虑放射性物质通过土壤和岩层对地下水污染的可能性。

事故所产生的瓦砾、混凝土、金属等各种废物,通过目测,辅以剂量检测,进行分类,然后储存于厂内不同的临时保管场所内,以防止二次污染的发生。对于低浓度的废物,采用屋外集中储存的方法;对于高浓度的固体废物,则采用储存库或者容器储存的方式。对于厂址边界的低放射性废物,采用填土临时保管方式。厂内具体的储存方式和储存地点如图6所示^[4]。



MP-1~MP-8为监测点;A、B、C、D、E、F、L和O为瓦砾的贮存点,A~L位于场地北侧,O位于场地西南侧;G、H、I、J、K、M为砍伐的树木贮存点,其中G、H、I位于场地北侧,J、K、M位于场地南侧,M位于场地西侧;Q、U、N为预留的瓦砾贮存点;R、S、T为预留的砍伐树木贮存点。小图B·A为瓦砾贮存点建筑物外貌图;A、L为内部瓦砾堆放示意图;C、D、I为露天贮存的瓦砾示意图

图6 福岛核事故后厂区内瓦砾及砍伐树木的保存情况

Fig. 6 Storage situation of debris and trees after Fukushima nuclear accident

5.3 燃料碎片/分解废物

5.3.1 燃料碎片

福岛第一核电站1~3号机组内熔融可燃物质较多,熔融后的物质可能会落入压力容器和安全壳内。压力容器内的燃料碎片(燃料和套管熔融后固化),主要指燃料(主要成分是UO₂),套管(主要成分是Zr),控制棒(主要成分是B₄C),结

构材料(不锈钢、镍铬铁合金)的碎片,以及材料相互间、材料与水蒸气发生氧化反应生成的 $(U, Zr)O_2$ 、 $(Fe, Ni)O_x$ 及合金等废物。但由于不同部位温度不同,材料相互间作用的种类不同,导致燃料碎片的种类各式各样。加上堆芯内发热量大、放射性比活度高,对燃料碎片的取出、保管及后处理都应该

采用冷却、远距离操作和采用一定的屏蔽措施。对于沸水堆,Zr用量大,加上控制棒 B_4C 都可能和注入的海水发生相互作用,导致压力容器外脱落的混凝土和堆芯熔融物发生相互作用,具体如图7所示^[25]。

在今后处理燃料碎片时,应分析其特性,由于堆芯内部

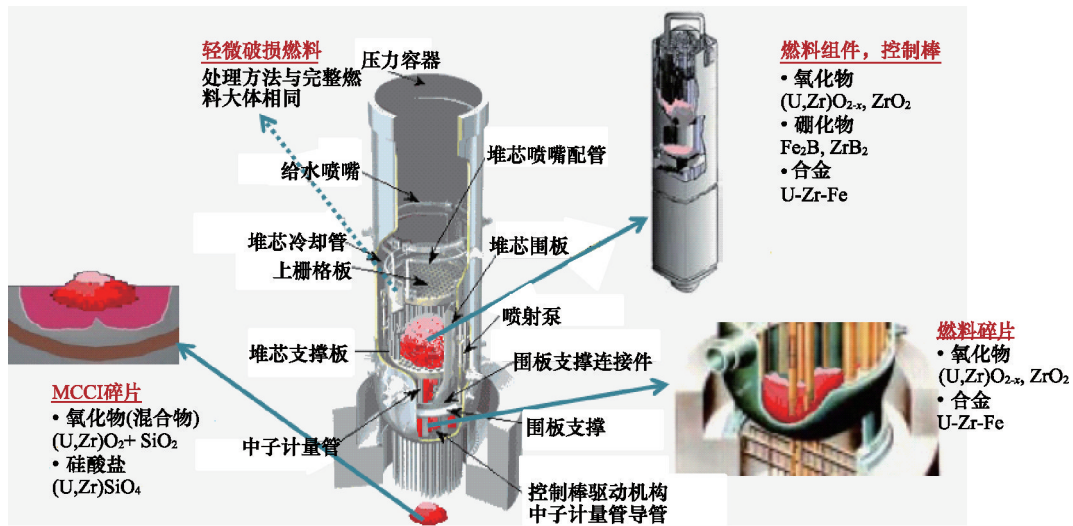


图7 熔融堆芯

Fig. 7 Molten core after Fukushima nuclear accident

放射性浓度高,人不能进入操作,因此燃料的特性也就无法完全掌握。燃料碎片取出后,也要防止造成室内污染,因此燃料碎片的处理是一个漫长的、高难度的过程。

目前,燃料碎片保存在压力容器内,压力容器破损时,则有可能存放在隔离的容器内。另外,燃料碎片必须要用水进行不断冷却,在该过程中要防止燃料碎片的溶解物、微细颗粒物等进入冷却水,从而有可能随水的流动一起转移到压力容器和安全壳的外部。因此,燃料碎片的保存比较困难。

5.3.2 分解废物

通常的核电厂废物中,分解废物包括含钢筋的混凝土、各种机器零部件、机组运行过程被污染的相关设备、场所等。一般混凝土分解废物90%以上都不含放射性物质。福岛第一核电厂所产生的分解废物,同一般核电厂的分解废物有很大的不同,主要体现在以下几个方面^[4]。

1) 污染源的放射性核素种类不同。一般核电厂所造成的污染,都是由堆芯燃料导致的。福岛核事故中,污染水和相关零部件接触,导致核素渗入内部从而造成深层污染。

2) 废物的化学成分不同。福岛核事故所产生的废物中可能含有盐分、硼酸、油分、有机物等,在今后的处理过程中,有必要对化学影响加以考虑。

3) 污染范围广泛。氢气爆炸导致大量放射性物质释放到空气中,随着气流进行扩散和沉降,导致污染的进一步扩大。不仅放射性废物的种类增加,而且放射性核素易渗入到物质内部造成深层污染。

4) 废物量大。污染范围广必然导致污染废物的量大。因此,应对废物进行安全、合理的保管,按照其不同的特点进行分类、除污、减容和再利用等。

5) 分解的顺序和方法不同。根据构筑物损毁的先后顺序对其进行分解,要防止放射性核素的泄漏,要考虑燃料碎片取出的先后顺序及操作流程,这同普通核电厂的拆解有本质的不同。

6) 相关数据获取难度大。堆芯附近放射性浓度很高,对其进行拆解,就必须了解废物的相关数据,以便确定除污、屏蔽和远距离操作的方法和流程。但是,由于放射性活度浓度高,很难获取堆芯附近的实测数据。

分解废物是核燃料从堆芯取出后,在厂房拆解过程中产生的,其保存期一般为20~25年。目前对于福岛第一核电厂,分解废物和反应堆的重建工作,都需进行耐震安全性评价,且需在取出乏燃料池中的乏燃料后方可进行。

6 对中国核电发展的启示

中国及其他核电国家对于放射性废物的处理,都是针对正常运行工况和预期运行事件工况下的废物。对于严重事故工况下的废物处理,由于其来源广泛,废物量庞大,成分复杂等,需要留待事故中后期进行有针对性的处理。中国在役运行的二代堆核电厂,具备处理较大应急废液的能力;建造中的三代堆核电厂,如AP1000,通过移动处理设备,可以处理严重事故工况下的废液。另外,严重事故后的废液处理系

统,应根据具体情况,选择不同的处理工艺,如RO膜法、离子交换法、絮凝沉淀和选择性吸附法等。对于固体放射性废物,宜采用分类、收集、处理等流程。

鉴于放射性废物处理的繁杂性,还应加强立法,制定标准,实行区域管理,同时进行实用技术研发,发展多种修复处置方法联用的方案,以达到高效控制和去除放射性废物的目标。未来中国核能将持续快速增长,福岛核事故并不会阻碍中国发展核电的决心,但应以此为鉴,在加强放射性废物法律法规增补和完善的基础上,加强放射性废物处理的基础研究,防患于未然,提高中国核事故的应急和处置能力,保障公众和环境的安全。具体可概况为:1) 进一步完善中国放射性废物的相关法律法规,明确职责;2) 提高核事故的应急机制,尽可能减少废物量的产生;3) 对已经或者可能产生的废物,其保管、存放场地、最终处置及减容技术都要详尽考虑,并做好布置分工;4) 废物处置及环境修复时需要投入大量的人力、物力和财力。

参考文献 (References)

- [1] USNRC. Regulatory Guide 1.143, design guidance for radioactive waste management systems, structures, and components installed in light-water-cooled nuclear power plants[S]. Washington DC: NRC, 2001.
- [2] 中华人民共和国环境保护部. 放射性废物安全管理条例[S]. 北京: 中国法制出版社, 2012.
Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. Regulation on the safety of radioactive waste management[S]. Beijing: Chinese Legal Publishing House, 2012.
- [3] 刘忠义, 唐谋生. 放射性废物的来源及其安全管理[C]. 中国环境科学学会学术年会, 乌鲁木齐, 8-18-19, 2011.
Liu Zhongyi, Tan Mousheng. Source and the safety management on radioactive waste[C]. China Environmental Science Society Academic Essays, Urumqi, August 18-19, 2011.
- [4] 日本原子力学会. 福岛第一原子力発電所事故により発生する放射性廃棄物の処理・処分[R]. 东京: 日本原子力学会, 2013.
Atomic Energy Society of Japan. Treatment and disposal of radioactive wastes generated by the Fukushima nuclear power plant accident[R]. Tokyo: Atomic Energy Society of Japan, 2013.
- [5] 邱国华. 放射性废物管理技术简述[C]/21世纪初辐射防护论坛第九次会议暨日本福岛核事故专题研讨会论文集. 江苏: 中国核学会辐射防护分会, 2011.
Qiu Guohua. Introduction on radioactive waste management technology [C]/Radiation Protection Forum, Ninth Session: Paper Symposium on Japan's Fukushima Nuclear Accident. Jiangsu: China Society of Radiation Protection, 2011.
- [6] IAEA, IAEA Mission Report. The great east Japan earthquake expert mission. IAEA international fact finding expert mission of the Fukushima Daiichi NPP accident following the great east Japan earthquake and Tsunami[R]. Vienna: IAEA, 2011.
- [7] 原子力安全・保安院. 地震被害情報[R]. 东京: 原子力安全・保安院, 2011.
Nuclear and Industrial Safety Agency, Japan. Earthquake damage information[R]. Tokyo: Nuclear and Industrial Safety Agency, 2011.
- [8] 王蕾, 郑国栋, 赵顺平. 日本福岛核事故对我国大陆环境影响[J]. 辐射防护, 2012, 32(6): 325-337.
Wang Lei, Zheng Guodong, Zhao Shunping. Impact of Fukushima nuclear accident to China's mainland environment[J]. Radiation Protection, 2012, 32(6): 325-337.
- [9] 日本原子力災害対策本部. 原子力安全に関するIAEA関係会議に対する日本政府の報告書-東京電力福島原子力発電所の事故について-[R]. 东京: 原子力災害対策本部, 2011.
Nuclear Emergency Response Headquarters, Japan. Report of Japanese government to the IAEA ministerial conference on nuclear safety-the accidental TEPCO's Fukushima nuclear power stations[R]. Tokyo: Nuclear Emergency Response Headquarters, 2011.
- [10] 東京電力. 福島原子力発電所における事故調査・検証委員会中間報告[R]. 东京: 东京电力, 2011.
Tokyo Electric Power Co, Ltd. Investigation Committee on the accident at the Fukushima nuclear power plant[R]. Tokyo: Tokyo Electric Power Co, Ltd, 2011.
- [11] 経済産業省. 東京電力株式会社福島第一原子力発電所及び広島に投下された原子爆弾から放出された放射性物質に関する試算値について[R]. 东京: 経済産業省, 2011.
Ministry of Economy, Trade and Industry, Japan. Comparison calculation on the value of the radioactive material was dropped from Hiroshima atomic bomb and Fukushima Daiichi nuclear power plant by Tokyo Electric Power Company[R]. Tokyo: Ministry of Economy, Trade and Industry, 2011.
- [12] Steinhäuser G, Brandl A, Johnson T E. Comparison of the Chernobyl and Fukushima nuclear accidents: A review of the environmental impacts[J]. Science of the Total Environment, 2014, 470: 800-817.
- [13] 日本原子力災害対策本部. 東京電力福島第一原子力発電所・事故の収束に向けた道筋ステップ 完了報告書[R]. 东京: 原子力災害対策本部, 2011.
Nuclear Emergency Response Headquarters, Japan. A report on the route for the convergence of Fukushima Daiichi nuclear accident by Tokyo electric power plant[R]. Tokyo: Nuclear Emergency Response Headquarters, 2011.
- [14] 原子力安全・保安院. 東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故の技術的知見について[EB/OL]. (2011-12-11)[2014-02-06]. <http://www.enecho.meti.go.jp/info/committee/kihonmondai/10th/10-32-1.pdf>.
Nuclear and Industrial Safety Agency, Japan. Information on the technical aspects of Fukushima Daiichi nuclear power plant accident by Tokyo Electric Power Company[EB/OL]. (2011-12-11)[2014-02-06]. <http://www.enecho.meti.go.jp/info/committee/kihonmondai/10th/10-32-1.pdf>.
- [15] IAEA. Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: Twenty years of experience [R]. Vienna: IAEA, 2011.
- [16] 日本環境省. 航空機モニタリングの測定結果[C]. 災害廃棄物安全評価検討会・環境回復検討会, 第1回合同検討会, 東京, 10-10, 2011.
Ministry of Environment, Japan. The results of air craft monitoring[C]. Study on Safety Assessment of Waste and Environmental Disaster recovery, the First Committee, Tokyo, 10-10., 2011.
- [17] 小寺正一. 放射性物質の除染と汚染廃棄物処理の課題-福岛第一原発事故とその影響・対策[R]. 东京: 農林環境課, 2012.
Kodera Shoiche. The influence and countermeasure on the decontamination of radioactive pollution and waste disposal problems at the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident[R]. Tokyo: Forestry and Environment Division, 2012.
- [18] 白崎亮, 久岡夏樹. 放射性物質を含む下水汚泥に関する現状[J]. 資

- 源環境対策, 2012, 48(2): 39-44.
- Shirasaki, Ryo Hisaoka, Natsuki. The present situation on sewage sludge containing radioactive material[J]. Environmental Resources, 2012, 48 (2): 39-44.
- [19] 日本環境省. 一般廃棄物処理施設における放射性物質に汚染されたおそれのある廃棄物の処理について[EB/OL]. (2011-08-29) [2014-05-22]. <http://www.env.go.jp/jishin/attach/osenhaiki-shori20110829.pdf>.
- Ministry of Environment, Japan. The waste disposal facilities contaminated by radioactive substances[EB/OL]. (2011-08-29) [2014-05-22]. <http://www.env.go.jp/jishin/attach/osenhaiki-shori20110829.pdf>.
- [20] 森田昌敏. 福島原発事故の検証と環境放射能汚染[M]. 東京: 環境コミュニケーションズ, 2011: 57-70.
- Morita Masatoshi. Environmental contamination by radioactive material of the Fukushima nuclear power plant accident[M]. Tokyo: Environmental Communications, 2011: 57-70.
- [21] 原子力災害対策本部. 個別の計画毎の検討実施状況、放射性廃棄物処理・処分スケジュール[C]//東京電力第13回運営会議資料. 東京: 原子力災害対策本部, 2012.
- Nuclear Disaster Countermeasures Headquarters. Plan for implementation of the radioactive waste treatment and disposal schedule [C]//The 13th Meeting Materials Management of Tokyo Electric Power Company. Tokyo: Nuclear Disaster Countermeasures Headquarters, 2012.
- [22] 保高徹生. 放射性物質の土壤中での挙動及び農作物への影響[J]. 農業と経済, 2012, 78(1): 101-112.
- Tetsuo Yasutaka. Behavior and effect on the crops of radioactive material in soil[J]. Agriculture and Economic, 2012, 78(1): 101-112.
- [23] 長縄弘親, 熊沢紀之, 齊藤浩, 等. ポリイオンコンプレックスを固定化剤として用いる土壌表層の放射性セシウムの除去[J]. 日本原子力学会和文論文誌, 2011, 10(4): 227-234.
- Naganawa Hirochika, Noriyuki Kumazawa, Hiroshi Saito, et al. Removal of radioactive cesium from surface soils solidified using polyioncomplex: Rapid communication for decontamination test at iitate-mura in Fukushima prefecture[J]. Journal of Japanese Society of Japan Atomic Energy, 2011, 10(4): 227-234.
- [24] IAEA. Final report of the international mission on remediation of large contaminated areas off-site the Fukushima Daiichi NPP[R]. Vienna: IAEA, 2011.
- [25] 西原健司, 岩元大樹, 須山賢也. 福島第一原子力発電所の燃料組成評価[J]. JAEA-Data/Code, 2012, 18: 34-59.
- Kenji Nishihara, Hiroki Iwamoto, Kenya Suyama. Estimation of fuel compositions in Fukushima-Daiichi Nuclear Power Plant[J]. JAEA-Data/Code, 2012, 18: 34-59.

(編輯 田恬)

· 学术动态 ·



2014年海峡两岸生物防治学术研讨会在昆明召开

2014年9月18日,由中国科协主办、中国植物保护学会承办的“2014年海峡两岸生物防治学术研讨会”在昆明召开。来自海峡两岸的生物防治专家学者及青年科技工作者260余人与会交流。

本次大会邀请海峡两岸10位专家作大会报告:中国工程院院士、中国农业科学院副院长吴孔明作“天敌昆虫跨海迁飞生物学”报告,中国工程院院士、云南省科协主席朱有勇作“作物多样性调控病虫害技术体系构建及应用”报告,中国农业科学院植物保护研究所研究员邱德文作“生物防治理论与技术研究进展”报告,中国林业科学院研究员杨忠岐作“利用天敌昆虫生物防治我国重大林木害虫研究进展”报告,云南大学副校长张克勤作“农作物重要病原线虫生物防控的基础研究——细菌动员真菌杀线虫的分子机制”报告,中国台湾植物保护学会理事长黄德昌作“液化淀粉芽孢杆菌在植物病害防治上之应用”报告,台湾中兴大学教授唐立正作“黄条叶甲之微生物防治”报告,台湾虎尾科技大学教授罗朝村作“生物防治制剂成功的要件与木微菌作用机制的进展”报告,台湾农业委员会药物毒物试验所谢奉家作“多功能液化淀粉芽孢杆菌Ba-BPD1的产品开发实例经验分享”报告,台湾嘉义大学教授萧文凤作“台湾的生物防治过去、现在及展望”报告。

在天敌昆虫的保护与利用、生物农药的研制与应用、植物病害的生物防治技术、植物虫害的生物防治技术、农作物病虫害综合防治技术集成、生物防治高新技术6个分会场上,58位中国大陆和台湾地区的生物防治专家作专题报告。

详见中国科协网<http://www.cast.org.cn/n35081/n35548/n38620/15999086.html>。