

基于IPA方法的福岛核事故外部成本评价

姜子英, 刘伟富

中国原子能科学研究院辐射安全研究所, 北京 102413

摘要 应用影响路径分析(IPA)方法建立了福岛核事故的外部成本计量框架,对短期和中期内造成的公众撤离和避迁,农产品、海产品、食品和渔业影响,旅游业影响,核电行业损失,避难者心理影响,核污染地区的清污和恢复,以及核事故赔偿等方面影响的外部成本估算结果为8.6日元/kW·h,对核事故后果影响做了初步探讨。结果表明,福岛核事故造成的直接辐射危害很小,但造成了广泛社会影响和巨大经济损失,而相比于海啸和地震极端自然灾害造成的损失仍然很小。福岛核事故的外部成本高昂,主要源于核事故应急措施和危机应对等社会因素。

关键词 福岛核事故;外部成本;影响路径分析

中图分类号 TL732

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.17.008

External Cost Evaluation of Fukushima Nuclear Accident Based on IPA Method

JIANG Ziyang, LIU Weifu

Department of Radiation Safety, China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413, China

Abstract The impact pathway approach is applied to establish an accounting framework of externalities of Fukushima nuclear accident and the short-term and mid-term impacts are evaluated, including the public evacuation and relocation, the crops, the seafood, the food and fisheries impacts, the tourism impact, the nuclear power industry losses, the asylum seeker psychological impacts, the clean-up and the restoration of the contaminated areas, and the nuclear accident compensation. The external cost of Fukushima nuclear accident is about 8.6 JPY/kW·h. With respect to the nuclear accident consequence, it is shown that the radiological impacts are small, however, the broad social influence and the economic losses are great, though still smaller than the losses caused by the severe earthquake and tsunami. The main causes of the high external cost of Fukushima nuclear accident are the social activities in the accident emergency and the crisis response measures.

Keywords Fukushima nuclear accident; external cost; impact pathway approach

2011年3月11日,大地震和海啸袭击日本,导致日本福岛第一核电站发生重大核泄漏事故(以下简称“福岛核事故”),造成严重的环境影响、社会影响及巨大的经济损失,这些影响附加的成本没有反映在现有的市场交易中,也没有在市场过程中得到补偿,这部分就是核事故风险的外部成本。福岛核事故再次引起全世界对核安全与核事故风险的担忧和争论。本研究开展福岛核事故外部成本评价,以为客观看

待核事故风险提供科学参考。

1 研究方法

国际上对能源活动的外部成本评价研究始于20世纪80年代,1991年由欧洲委员会(EC)和美国能源部(US DOE)联合启动ExternE研究计划,有15个国家参加(美国后来退出,独立研究各种发电技术及燃料循环的外部成本),开展对12

收稿日期:2013-12-03;修回日期:2014-02-18

基金项目:中国原子能科学研究院院长基金项目(YZ2011-07)

作者简介:姜子英,副研究员,研究方向为能源与环境,电子信箱:jziying@163.com

引用格式:姜子英,刘伟富.基于IPA方法的福岛核事故外部成本评价[J].科技导报,2014,32(17):54-59.

种能源系统的环境影响外部成本评价的方法学和应用研究,并对外部成本内部化、全球气候变暖、燃料循环终端应用技术、严重事故风险的影响评价等重要问题进行了研究,先后出版了13卷研究报告。

对于核事故风险的外部成本评价方法有两类:一类是基于核电厂概率安全分析(probabilistic safety assessment, PSA)的后果评价方法^[1],该方法能够给出正常运行情况下发生核事故的概率风险及其后果的指示性结果。该方法通过应用很多可能事故情景的概率安全分析结果,评估事故潜在成因、可能发生的概率以及对环境的预期释放,再对公众剂量、健康效应、对策花费以及可能的污染损失等环境影响和经济损失进行后果评价。例如欧共体的基于PSA的研究^[1,2],使用欧共体辐射防护计划(CEC, 1991)开发的COSYMA程序,对假定的4种核事故情景对人类健康和经济的影响进行评估,按900 MW压水堆的熔堆事故发生概率被假定为 5×10^{-7} 堆年,采用(欧洲)当地的土地污染、交通受损、对策花费及贴现率等用于事故后果分析的经济价值数据,得到由于严重反应堆事故的风险(堆芯熔化事故及后续放射性物质对环境释放的概率)而造成的外部成本范围在0.002~0.1 mECU/kW·h。研究表明,核电厂正常运行情况下发生严重核事故的概率很小,但存在潜在的环境安全风险(即严重核事故的最大可信后果可能会很严重),核事故风险附加的外部成本会使总成本增加大约5%。

另一类是基于对实际发生的严重核事故的后果和影响进行定量评价的影响路径分析方法(impact pathway approach, IPA)^[2],该方法使用具体位置信息和实际排放数据、污染物扩散模式、接受体的详细信息和剂量-响应函数等计算核事故造成的环境影响和社会影响,然后以货币单位来计量这些影响。由于这种方法通过从“负担”到“影响”再到“价值计量”的连续路径分析,因此被称为影响路径分析方法。IPA方法作为外部成本评价的通用方法,已广泛应用于能源领域的环境影响和社会影响分析。例如在中国核电外部成本分析中,从铀矿开采到废物处置整个核电链系统的健康、环境和气候影响,已开展了较深入的研究^[3,4]。其中,核电链事故,特别是严重事故,由于属于低概率事件,其外部成本(归一化到单位发电量上)通常被认为很小,一般不予考虑。本文针对已发生的福岛核事故(属低概率的严重事故)的外部成本评价研究,可以为未来进一步评估核电链事故,特别是严重事故的后果影响建立基础。

2 福岛核事故的外部成本评价

2.1 计量框架

应用IPA方法建立了外部成本计量框架,如图1所示。主要步骤包括:核事故描述;环境负担的确定和计量;影响的确定和计量;价值计量和总的外部成本。

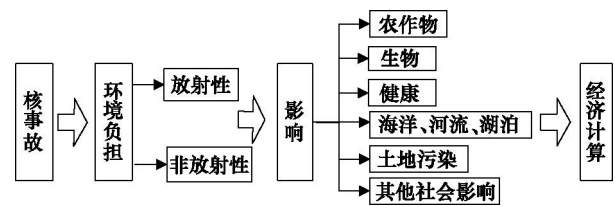


图1 严重核事故(以福岛核事故为例)的外部成本计量框架
Fig. 1 Accounting framework of externalities of severe nuclear accident (e.g. Fukushima accident)

2.2 核事故描述

地震发生之前,福岛第一核电厂的6台机组中,1、2、3号处于功率运行状态,4、5、6号在停堆检修。地震导致福岛第一核电厂所有的厂外供电丧失,3个正在运行的反应堆自动停堆,应急柴油发电机按设计自动启动并处于运转状态。第一波海啸浪潮在地震发生后46 min抵达福岛第一核电厂。海啸冲破了福岛第一核电厂的防御设施,这些防御设施的原始设计能够抵御浪高5.7 m的海啸,而当天袭击电厂的最大浪潮达到约14 m^[5]。超强地震与超高海啸共同作用导致福岛第一核电厂出现全厂断电,随后部分厂房氢气聚集而引发了一系列爆炸,大量放射性物质向大气环境中释放。由于受地震、水淹、氢气爆炸、海水腐蚀等影响,福岛第一核电厂1~4号机组原有的工艺系统中的大部分已难以恢复,主要采取向堆芯和乏燃料池补水的方式实现冷却。反应堆压力容器和乏燃料水池泄漏的液态放射性物质积累在反应堆厂房和汽轮机厂房,发生高水平放射性污水流出地面泄漏到海洋中。为增加对高放污水的存储空间,东京电力公司(TEPCO,福岛核电站的业主)将上万吨低水平放射性污水排入海洋^[6]。

2.3 主要环境负担

福岛核事故在国际核事件分级(INES)中被定为最严重的INES-7级,向大气中释放的放射性物质中¹³¹I和¹³⁷Cs分别达到 1.6×10^{17} Bq和 1.5×10^{16} Bq^[7],向海洋中释放的放射性物质¹³⁷Cs达到 10^{16} Bq^[8]。总体来说,福岛核事故¹³¹I和¹³⁷Cs释放的放射性核素量约为切尔诺贝利事故的1/10。核事故的主要环境负担是向环境(大气和海洋)中释放的放射性。

2.4 影响的优先级

通过跟踪调研和整理分析福岛核事故发生后产生影响及其后果的报道,确定了福岛核事故的影响包括:短期内造成大量公众撤离和避迁,造成农产品、海产品、食品和渔业遭受严重影响,旅游业受到显著影响,核电行业遭受严重损失,核事故避难者心理和精神障碍的报道显著增多。较长一段时期(中期)内,在核污染地区的清污和恢复,核事故赔偿等方面将产生持续影响。长期来看,核事故对社会影响,包括能源政策,公众接受度,以及对工业和能源产业结构等具有长期的影响。

根据报道整理统计的数据显示:1) 撤离/避迁影响。福岛核事故发生之后,日本当局将其周围 30 km 以内的地区分别划为“疏散指示解除准备区”、“居住限制区”以及“难以返回区”^[9]。福岛县共约有 60.6 万人自愿转移至其他地区^[10]。2) 对生物和农作物的影响。从福岛县的猪^[11]、牛^[12]等家畜样品中,老鼠^[13]、蚯蚓^[14]、蟋蟀^[15]、蝗虫^[15]等野生动物样品中,黄盖蝶、六线鱼、牙鲆等海洋生物样品中^[16],萝卜丝干^[17]、稻米样品^[18]及岩手、宫城等 9 县的香菇、野菜等食品^[19,20]样品中检出过量的放射性核素铯。3) 旅游业影响。2011 年的访日外国旅客人数同比下降 27.8%^[21],消费额同比减少 29.2%^[22]。4) 核电行业影响。日本核电行业亏损 3.6 万亿日元^[23],TEPCO 净损失 6239 亿日元^[24]。5) 人体健康影响。曾在福岛第一核电站参与修复作业的工作人员有 6 人死亡(其中 2 人因海啸,2 人因心脏病,2 人为其他因素),没有因辐射致死人员^[25]。福岛县受到较高剂量照射的公众有 1589 人(均小于 15 mSv)^[26],工作

人员中 167 人受到大于 100 mSv 照射,6 人受到大于 250 mSv 照射,最大照射为 678 mSv^[26],没有发生急性放射性病例。可见,没有证据表明核事故的放射性释放对人体健康造成直接危害。6) 心理影响。受地震、海啸和核事故灾难的复合影响,福岛县居民患忧郁症和心理障碍增多^[27],例如对新活动缺乏兴趣,联想起灾害后感到腹痛或头疼等“状况”的儿童达到了 38%^[28]。7) 污染地区的清污和修复。岩手县为 1.5 万 hm² 受放射性铯污染的牧草地除污,总费用预计为 60 亿日元(至 2014 年)^[29]。而日本政府计划投入至少 1 万亿日元用于核污染地区的清污工作^[30]。8) 核事故赔偿。至 2012 年 7 月,东京电力公司向受灾企业和个人支付的赔偿金已达到 1.07 万亿日元左右^[10]。核事故赔偿费用总计达到约 2.5 万亿日元^[31]。

2.5 经济损失价值

用于福岛核事故后果分析的经济损失价值见表 1。

表 1 用于福岛核事故后果分析的经济损失价值

Table 1 Economic values in accident consequence analysis

| 类别 | | 经济损失价值 | | |
|--------------------|----------------------|------------------------|---------------------------------|------|
| 撤离/避迁 (公众) | 撤离/避迁(20 km 内) | 102 万 ^[32] | 日元/(户·年) | |
| | 撤离成本(一次性) | 交通 | 5000 ^[32] 日元/人 | |
| | | 住宿 | 8000 ^[32] 日元/人 | |
| | 家庭财产赔偿 | 居住限制区和疏散指示区 | 500 万 ^[9] | 日元/户 |
| | | 难以返回区 | 670 万 ^[9] | 日元/户 |
| 迁移赔偿(自愿撤离) | | 42.9 万 ^[10] | 日元/人 | |
| 离家避难赔偿(大熊町案例) | | 2300 万 ^[33] | 日元/户 | |
| 人体健康 | 死亡(非辐射因素) | 参与修复作业的工作人员 | 6 ^[25] 人 | |
| | | 在避难生活中病死或自杀的灾民 | 超过 1600 ^[34] 人 | |
| | 辐射照射 | 大于 100 mSv(工作人员) | 167 ^[26] 人 | |
| | | 大于 250 mSv(工作人员) | 6 ^[26] 人 | |
| 小于 15 mSv(公众) | 1589 ^[26] | 人 | | |
| 农产品、食品 and 渔业影响 | 单位农产品损失(案例) | 梨子(福岛县) | 180 ^[35] 日元/kg | |
| | | 章鱼(福岛县) | 650~990 ^[36] 日元/kg | |
| | | 黑鲍(千叶县) | 3500~5500 ^[37] 日元/kg | |
| | 农产品及食品禁令(总经济损失) | 407 亿 ^[38] | 日元/年 | |
| 渔业从业者赔偿 | 70 万 ^[39] | 日元/(人·3月) | | |
| 污染地区清污和 修复 | 核污染地区(政府计划) | 1 万亿 ^[30] | 日元 | |
| | 牧草地(岩手县) | 73 万 ^[29] | 日元/hm ² | |
| 社会影响 | 旅游消费减少(2011 年总损失) | 3355 亿 ^[21] | 日元/年 | |
| | 核电行业影响 | 核电行业亏损(总经济损失) | 3.6 万亿 ^[23] | 日元 |
| | | 东京电力公司损失(净损失) | 6239 亿 ^[24] | 日元 |
| | | 核事故赔偿费(总计) | 2.5 万亿 ^[31] | 日元 |
| 公众心理影响 | 核事故避难者的精神损失 | 3000 亿 ^[40] | 日元 | |

2.6 外部成本结果

对福岛核事故的短期和中期影响的外部成本初步估算结果(归一化到单位发电量)为 8.6 日元/kW·h,如表 2 所示。其中,短期内受核事故直接影响的核电行业的经济损失最大,占总的 44%;较长一段时期内,核事故的赔偿、对污染地

区的清污和恢复,分别占总的 31%、12%。需要说明的是,福岛核事故造成的经济损失和赔偿尚未能定量计算,日本政府只公布了疏散区域内的土地、住宅等不动产的赔偿标准,而撤离区域的企业和公司的损失赔付,由于涉及金额异常庞大,仍需继续评估和谈判^[32]。另外,对于心理影响,由于缺乏

定量的影响评估结果而难于进行计量,只能进行粗略的估计。因此,对福岛核事故的短期和中期外部成本的初步估算,仍然是不完全统计的低估值。长期来看,福岛核事故对灾区的重建、恢复、能源政策、核电的公众接受度以及工业产

业结构发展等影响仍然存在着很大的不确定性,目前也难以定量其外部成本值,但有理由认为,可能高于短期和中期影响的外部成本。

表2 福岛核事故短期和中期影响的外部成本计算结果

Table 2 Externalities of short-term and mid-term impacts of Fukushima nuclear accident

| | 影响类别 | 外部成本 ¹ /(日元·kW·h ⁻¹) | 比重/% |
|------|-----------------------|---|------|
| 短期影响 | 撤离/避迁 | 2.73×10 ⁻¹ | 3.2 |
| | 人体健康(死亡、急性病)-地震海啸复合影响 | 1.35×10 ⁻¹ | 1.6 |
| | 农产品、食品禁令及渔业赔偿 | 4.28×10 ⁻² | 0.5 |
| | 旅游业损失 | 3.53×10 ⁻¹ | 4.1 |
| | 核电行业亏损(总经济损失) | 3.79 | 44.0 |
| | 心里影响估计-核事故避难者的精神损失 | 3.16×10 ⁻¹ | 3.7 |
| 中期影响 | 核污染地区清污和修复(政府计划) | 1.06 | 12.3 |
| | 核事故赔偿费(总计) | 2.63 | 30.6 |
| | 合计 | 8.6 | 100 |

注:¹按照发电量归一化。福岛第一核电站6个发电机组从1979年全部投入运行,至2010年,总发电量约为9500亿kW·h^[41,42]。

3 福岛核事故后果影响初步探讨

福岛核事故是由极端外部事件叠加,即超强地震与超高海啸共同作用,导致全厂断电而引发的群堆共模严重事故。综合国内外已发表的资料,福岛核事故产生的辐射影响是^[43]: 1) 从对公众的辐射影响来看,公众所受剂量通常都不大或很低。福岛县成人终身所受有效剂量约为10 mSv或更低,第一年所受剂量低约2~3倍。这样低的剂量不会导致癌症风险增加。对于事故发生时生活在福岛县的1岁以下儿童,没有发现超额甲状腺癌。2) 从对工作人员的辐射影响来看,24575名工作人员中的绝大多数人受的辐射小于100 mSv。167人所受有效剂量为100~680 mSv,平均约140 mSv;其中12名工作人员甲状腺的吸收剂量在2~12 Gy范围内,存在甲状腺癌增加的风险,但风险很低。总之,没有发生辐射相关的死亡和急性放射病;因为所受剂量都低于确定性效应的阈值,也不可能产生确定性效应;也不可能观察到癌症发生率的增加。3) 从对非人类物种的辐射影响来看,对植物和动物可能存在短期的影响。对急性效应来说,由于剂量太低,并没有观察到对海洋和陆生生物的急性效应。在放射性物质沉积很大的较小区域,如放射性污水排入海洋的地点,有可能观察到影响。其他区域,影响不明显。可见,福岛核事故造成的(对人体健康和环境)直接辐射危害是很小的。另一方面,从整体来看,由于地震和海啸灾害造成的死亡人数达15391人、失踪人数达8171人^[4],极端自然灾害造成的直接损害远远超过核事故。受地震、海啸和核事故复合灾难影响,福岛县居民患忧郁症和心里障碍显著增多,核事故造成的心理影响不可忽视。福岛核事故外部成本评价初步结果8.6 日元/kW·h,已达到平均电价(日本施行阶梯电价,平均按20 日元/kW·h计)的40%。可见,严重核事故造成的社会心理影响和经济损失是非常巨大的,产生心理影响和经济损失的主要因素,

是对核事故的应急措施以及危机应对手段等社会因素,这也是核事故风险及后果评价中值得关注的特点。

4 结论

1) 福岛核事故造成的直接辐射危害是很小的,但在短期和较长一段时期内造成的公众撤离和避迁,农产品、海产品、食品和渔业影响,旅游业影响,核电行业损失,避难者心理影响,核污染地区的清污和恢复,以及核事故赔偿等方面的外部成本高昂,但相比于海啸和地震极端自然灾害造成的损失仍然很小。福岛核事故也没有改变“核电是安全、清洁的能源”的结论,与核电厂正常运行情况相比,发生严重核事故的概率极低,核事故附加的外部成本仍然很小。核事故属于低概率高风险事件,但小概率事件不应被认为不会发生,应当重视吸取福岛核事故的经验教训,进一步提高核电厂的安全水平,特别是应当加强严重事故的预防和缓解措施。

2) 福岛核事故造成广泛社会影响和巨大经济损失的主要因素,是核事故的应急措施和危机应对活动中的决策、救援、防护、沟通、信息交换、监管等一系列行为的适当性和有效性。特别是,由于多种外部因素和内部因素,对核事故恐慌产生的过度社会响应,例如我国不少城市出现的“抢盐风波”,德国、日本等很多国家出现的反核示威游行等,产生的短期或长期影响的附加外部成本可能远高于核事故本身的影响和损失。对于核事故风险应当有客观的认识、完善及加强危机应对机制和预案研究,如发生核事故时的信息管理、发布和沟通机制,应急响应的决策程序等,提高官方信息与舆论引导的公信力。

3) 核事故风险的评价中,情感有着不同于概率和金钱损失的评价尺度,例如畏惧、恐慌和抑郁。核事故风险的外部成本,已经呈现出不仅仅是健康和经济方面的损害,而且还

呈现出一种公众对潜在的核事故风险与科技专家不同的认知。当今,越来越多的公众已经通过话语权参与到能源技术发展和政策决策中,应当总结福岛核事故后果评价的经验反馈,加强核与辐射事故对公众心理影响、社会效应及对策的相关研究,提升公众接受度和应急决策的支持能力。

参考文献(References)

- [1] European Commission. ExternE project Vol.5: Nuclear[R]. Brussels: European Commission, 1995.
- [2] European Commission. ExternE project: Methodology 2005 update[R]. Luxembourg: European Commission 2005.
- [3] 潘自强, 马忠海, 李旭彤, 等. 我国煤电链和核电链对健康、环境和气候影响的比较[J]. 辐射防护, 2001(3): 129-145.
Pan Ziqiang, Ma Zhonghai, Li Xutong, et al. Comparative study of impacts of coal chain and nuclear power chain in China on health, environment and climate[J]. Radiation Protection, 2001(3): 129-145.
- [4] 姜子英. 我国核电与煤电环境影响的外部成本比较[J]. 环境科学研究, 2010(8): 1086-1090.
Jiang Ziying. Comparison of external costs of environmental impacts from nuclear power and coal power in China[J]. Research of Environmental Sciences, 2010(8): 1086-1090.
- [5] International Atomic Energy Agency. IAEA International fact finding expert mission of the Fukushima daiichi NPP accident following the great east Japan earthquake and tsunami report[R]. Vienna: IAEA, 2011.
- [6] Jiang Z Y. Fukushima nuclear accident implications for the nuclear power development in China [J]. Advanced Materials Research, 2011, 347-353 : 3810-3814.
- [7] 日本経済産業省原子力安全保安院. 東京電力株式会社福島第一原子力発電所の事故に係る1号機、2号機及び3号機の炉心の状態に関する評価について[EB/OL]. (2011-06-06)[2012-04-08]. <http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/20110606-1nisa.pdf>.
- [8] NHK. Fukushima: radioactive release into sea estimated triple [EB/OL]. (2011-09-09)[2012-03-14]. http://www3.nhk.or.jp/daily/english/08_25.html.
- [9] 戚易斌. 日公布福岛核事故不动产赔偿标准 金额按年累计[EB/OL]. (2012-07-20)[2012-09-25]. <http://www.chinanews.com/gj/2012/07-20/4046912.shtml>.
Qi Yibin. Japan announced the Fukushima nuclear accident compensation standards [EB/OL]. (2012-07-20) [2012-09-25]. <http://www.chinanews.com/gj/2012/07-20/4046912.shtml>.
- [10] 国际电力网. 东电因核泄漏赔偿破1万亿日元[EB/OL]. (2012-08-06) [2012-09-26]. <http://power.in-en.com/html/power-07400740401503735.html>.
TEPCO. The nuclear leakage compensation over 1 trillion yen[EB/OL]. (2012-08-06)[2012-09-26]. <http://power.in-en.com/html/power-07400740401503735.html>.
- [11] 李雨昕. 日本福岛县首次发现辐射超标猪肉已废弃处理[EB/OL]. (2012-05-23)[2012-09-26]. <http://www.chinanews.com/gj/2012/05-23/3910504.shtml>.
Li Yuxin. Radiation excessive pork first found in Fukushima was abandoned treatment [EB/OL]. (2012-05-23)[2012-09-26]. <http://www.chinanews.com/gj/2012/05-23/3910504.shtml>.
- [12] 浙江日报. 日新现数百辐射牛入市[EB/OL]. (2011-08-01) [2012-10-09]. http://zjrb.zjol.com.cn/html/2011-08/01/node_11.htm.
Zhejiang Daily. Japan found hundreds of cattle contaminated by radiation into the market [EB/OL]. (2011-08-01)[2012-10-09]. http://zjrb.zjol.com.cn/html/2011-08/01/node_11.htm.
- [13] 赵文杰. 福岛警戒区外野生老鼠体内检测出高浓度放射性铯[EB/OL]. (2012-05-14) [2012-10-12]. <http://japan.people.com.cn/35465/7816006.html>.
Zhao Wenjie. High concentration of radioactive cesium was detected in wild mice outside Fukushima warning area [EB/OL]. (2012-05-14) [2012-10-12]. <http://japan.people.com.cn/35465/7816006.html>.
- [14] 蓝建中. 日本福岛蚯蚓被检出放射性铯[EB/OL]. (2012-02-07) [2012-10-12]. http://news.xinhuanet.com/world/2012-02/07_c_111496259.htm.
Lan Jianzhong. Radioactive cesium was detected in earthworms in Fukushima [EB/OL]. (2012-02-07) [2012-10-12]. [http://news.xinhuanet.com/world/2012-02/07/c_111496259.htm](http://news.xinhuanet.com/world/2012-02/07_c_111496259.htm).
- [15] 路晗. 日本福岛附近昆虫被检出放射性铯[EB/OL]. (2012-01-12) [2012-10-12]. <http://gb.cri.cn/27824/2012/01/12/5311s3519931.htm>.
Lu Han. Radioactive cesium was detected in insects near Fukushima. [EB/OL]. (2012-01-12)[2012-10-12]. <http://gb.cri.cn/27824/2012/01/12/5311s3519931.htm>.
- [16] 宋亚芬. 日本福岛海底放射性物质至今仍难以扩散[EB/OL]. (2012-05-31) [2012-10-21]. <http://finance.chinanews.com/ny/2012/05-31/3929104.shtml>.
Song Yafen. Fukushima radioactive substances in seabed are difficult to diffuse [EB/OL]. (2012-05-31)[2012-10-21]. <http://finance.chinanews.com/ny/2012/05-31/3929104.shtml>.
- [17] 王忠会. 日本福岛萝卜干放射性铯超标6倍[EB/OL]. (2012-02-13) [2012-10-21]. <http://www.chinanews.com/gj/2012/02-13/3662494.shtml>.
Wang Zhonghui. Radioactive cesium exceeding 6 times in dry radish in Fukushima [EB/OL]. (2012-02-13)[2012-10-21]. <http://www.chinanews.com/gj/2012/02-13/3662494.shtml>.
- [18] 郭一娜. 日本福岛583家农户稻米铯超标[EB/OL]. (2012-02-04) [2012-10-22]. http://news.xinhuanet.com/world/2012-02/04_c_111487529.htm.
Guo Yina. Fukushima 583 farmers found radioactive cesium exceeded in rice [EB/OL]. (2012-02-04)[2012-10-22]. [http://news.xinhuanet.com/world/2012-02/04/c_111487529.htm](http://news.xinhuanet.com/world/2012-02/04_c_111487529.htm).
- [19] 李雨昕. 日本制定食品辐射新标准百种食品超标农户受损[EB/OL]. (2012-05-14) [2012-10-21]. <http://www.chinanews.com/gj/2012/05-14/3886661.shtml>.
Li Yuxin. Japan set new food irradiation standards and hundred kinds of food exceeding standards [EB/OL]. (2012-05-14) [2012-10-21]. <http://www.chinanews.com/gj/2012/05-14/3886661.shtml>.
- [20] 孟湘君. 日本正式敲定食品放射性铯新标准 福岛县曾超标[EB/OL]. (2012-02-24) [2012-10-22]. <http://www.chinanews.com/gj/2012/02-24/3696114.shtml>.
Meng Xiangjun. Japan set new radioactive cesium standards in food and Fukushima has exceeded [EB/OL]. (2012-02-24) [2012-10-22]. <http://www.chinanews.com/gj/2012/02-24/3696114.shtml>.
- [21] 舛友雄大. “3.11”如何影响日本经济与政治[EB/OL]. (2012-03-10) [2012-10-22]. <http://international.caixin.com/2012-03-10/100366634.html>.
Jiyoxiongda. How does "3.11" affect Japan's economic and political [EB/OL]. (2012-03-10)[2012-10-22]. <http://international.caixin.com/2012-03-10/100366634.html>.
- [22] 王海波. 超9成中国游客欲再次光顾日本 消费总额两年居首[EB/OL]. (2012-05-22) [2012-10-22]. <http://www.chinanews.com/hr/2012/05-22/3905464.shtml>.
Wang Haibo. Over 90% of Chinese tourists want to visit Japan again [EB/OL]. (2012-05-22)[2012-10-22]. <http://www.chinanews.com/hr/2012/05-22/3905464.shtml>.
- [23] 新华网. 福岛事故后日核电亏460亿美元[EB/OL]. (2012-08-16) [2012-11-07]. http://news.xinhuanet.com/politics/2012-08/16_c_12359

- 1453.htm.
www.xinhuanet.com. Japan's nuclear power industry losses of \$46 billion from Fukushima accident [EB/OL]. (2012-08-16)[2012-11-07]. http://news.xinhuanet.com/politics/2012-08/16c_123591453.htm.
- [24] 冯武勇. 福岛核事故致东电巨额亏损[EB/OL]. (2012-02-13)[2012-11-07]. http://news.xinhuanet.com/world/2012-02/13/c_111519711.htm.
Feng Wuyong. Fukushima nuclear accident led TEPCO to huge losses [EB/OL]. (2012-02-13) [2012-11-07]. http://news.xinhuanet.com/world/2012-02/13/c_111519711.htm.
- [25] 李季. 联合国称福岛核事故抢修人员死因并非核辐射[EB/OL]. (2012-05-24) [2012-11-07]. http://www.chinanews.com/gj/2012/05-24/3912827.shtml.
Li Ji. The United Nations says the cause of death of Fukushima nuclear accident repair person was not nuclear radiation [EB/OL]. (2012-05-24) [2012-11-07]. http://www.chinanews.com/gj/2012/05-24/3912827.shtml.
- [26] 潘自强. 辐射安全几个问题的讨论[C]//辐射防护分会2012年学术年会论文集. 杭州: 中国核学会辐射防护分会, 2012: 1.
Pan Ziqiang. Discuss on several issues of radiation safety[C]// Proceedings of 2012 Annual Conference on Radiation Protection. Hangzhou: China Society of Radiation Protection, 2012: 1.
- [27] 新华网. 调查显示福岛核事故影响当地居民心理健康[EB/OL]. (2012-04-02)[2012-11-11]. http://news.xinhuanet.com/world/2012-04/02/c_111732620.htm.
www.xinhuanet.com. Survey shows: Fukushima nuclear accident affecting the mental health of local residents [EB/OL]. (2012-04-02)[2012-11-11]. http://news.xinhuanet.com/world/2012-04/02/c_111732620.htm.
- [28] 筒井雄二. 核事故影响, 福岛市儿童忧郁状态增多[EB/OL]. (2012-06-15) [2012-11-18]. http://cn.j-cast.com/2012/06/15135693.html.
Horii Yujii. Impact of nuclear accidents: Fukushima children increased depression status [EB/OL]. (2012-06-15)[2012-11-18]. http://cn.j-cast.com/2012/06/15135693.html.
- [29] 王婧. 日本岩手县将为1.5万公顷“核牧草”除污[EB/OL]. (2012-07-26)[2012-11-18]. http://world.huanqiu.com/exclusive/2012-07/2952326.html.
Wang Jing. 15000 ha of radiation contaminated grass will undergo decontamination in Iwate prefecture [EB/OL]. (2012-07-26)[2012-11-18]. http://world.huanqiu.com/exclusive/2012-07/2952326.html.
- [30] 郭一娜. 日本首相野田: 将投入万亿日元用于清除核污染[EB/OL]. (2012-03-03) [2012-11-18]. http://news.xinhuanet.com/world/2012-03/03/c_111599244.htm.
Guo Yina. Japan will invest one trillion yen for removing nuclear contamination [EB/OL]. (2012-03-03) [2012-11-18]. http://news.xinhuanet.com/world/2012-03/03/c_111599244.htm.
- [31] 曹昆. 东电社长称政府也要负担福岛核事故赔偿费[EB/OL]. (2012-06-27)[2012-11-18]. http://www.chinanews.com/gj/2012/06-27/3991562.shtml.
Cao Kun. TEPCO president said that government also has to pay compensation for the Fukushima nuclear accident [EB/OL]. (2012-06-27)[2012-11-18]. http://www.chinanews.com/gj/2012/06-27/3991562.shtml.
- [32] 赵文杰. 福岛所有食品上市都要经过严格的安全检测[EB/OL]. (2012-02-23)[2012-11-20]. http://japan.people.com.cn/35467/7737848.html.
Zhao Wenjie. Fukushima: All listed food must go through rigorous safety testing [EB/OL]. (2012-02-23)[2012-11-20]. http://japan.people.com.cn/35467/7737848.html.
- [33] 曹昆. 福岛核事故造成的住宅损失索赔案首次达成和解[EB/OL]. (2012-02-28) [2012-11-20]. http://www.chinanews.com/gj/2012/02-28/3704327.shtml.
Cao Kun. Residential damage claims resulting from the Fukushima nuclear accident reach a settlement [EB/OL]. (2012-02-28) [2012-11-20]. http://www.chinanews.com/gj/2012/02-28/3704327.shtml.
- [34] 深圳晚报. 1600人躲过灾害 躲不过病和心劫[EB/OL]. (2012-05-11) [2012-11-20]. http://wb.sznews.com/html/2012-05/11/content_2037810.htm.
Shenzhen Evening News. 1,600 people survived the disaster, but not escape from disease and panic [EB/OL]. (2012-05-11)[2012-11-20]. http://wb.sznews.com/html/2012-05/11/content_2037810.htm.
- [35] 食品产业网. 食品福岛县梨继桃子之后陷入销售困境[EB/OL]. (2011-09-26)[2012-11-22]. http://www.foodqs.cn/news/gjspzs01/201192691746745.htm.
FOODQS. Fukushima pears into sales dilemma after peaches [EB/OL]. (2011-09-26)[2012-11-22]. http://www.foodqs.cn/news/gjspzs01/201192691746745.htm.
- [36] 食品产业网. 福岛核事故后近海章鱼和海螺首次开卖[EB/OL]. (2012-06-25)[2012-11-22]. http://www.foodqs.cn/news/gjspzs01/2012625171648031.htm.
FOODQS. Octopus and conch offshore start on sale after Fukushima accident [EB/OL]. (2012-06-25)[2012-11-22]. http://www.foodqs.cn/news/gjspzs01/2012625171648031.htm.
- [37] 食品产业网. 福岛核泄露事故影响日本鲍鱼价格暴跌[EB/OL]. (2012-06-20)[2012-11-22]. http://www.foodqs.cn/news/gjspzs01/201268172624983.htm.
FOODQS. Fukushima accident affecting Japanese abalone prices fall [EB/OL]. (2012-06-20)[2012-11-22]. http://www.foodqs.cn/news/gjspzs01/201268172624983.htm.
- [38] 郭晨然. 核泄露事故导致去年日本农产品出口额下降逾8%[EB/OL]. (2012-02-20)[2012-11-22]. http://japan.people.com.cn/35463/7734016.html.
Guo Chenran. Japan nuclear accident led to agricultural exports fell by more than 8% last year [EB/OL]. (2012-02-20)[2012-11-22]. http://japan.people.com.cn/35463/7734016.html.
- [39] 陈言. 日本该如何为核事故向周边国家赔偿[EB/OL]. (2011-05-31) [2012-11-28]. http://www.eeo.com.cn/2011/0531/202534.shtml
Chen Yan. How does Japan compensate to neighboring countries for nuclear accident [EB/OL]. (2011-05-31)[2012-11-28]. http://www.eeo.com.cn/2011/0531/202534.shtml.
- [40] 冯武勇. 东电向日本政府申请注资万亿日元[EB/OL]. (2012-03-29) [2012-11-28]. http://news.xinhuanet.com/world/2012-03/29/c_111718820.htm.
Feng Wuyong. TEPCO apply to the Japanese government for injecting one trillion yen [EB/OL]. (2012-03-29)[2012-11-28]. http://news.xinhuanet.com/world/2012-03/29/c_111718820.htm.
- [41] 刘玉焦. 日本福岛1号核电站创世界轻水堆发电量最高记录[J]. 国外核新闻, 1983(8): 10.
Liu Yunjiao. Fukushima Daiichi plant reach the highest power generation record of world's LWR power plants[J]. Global Nuclear News, 1983(8): 10.
- [42] 刘玉光. 东京电力公司核电生产累计达万亿千瓦时[J]. 国外核新闻, 1995(7): 16.
Liu Yuguang. TEPCO's nuclear power generation totalled trillion kWh [J]. Global Nuclear News, 1995(7): 16.
- [43] 潘自强. 日本福岛核事故的辐射照射水平和影响[EB/OL]. (2013-06-27)[2013-12-28]. http://www.china-nea.cn/html/2013-06/27070.html.
Pan Ziqiang. Radiation exposure level and impacts of Fukushima nuclear accident in Japan [EB/OL]. (2013-06-27)[2013-12-28]. http://www.china-nea.cn/html/2013-06/27070.html.

(责任编辑 赵业玲)