

·述评·

日本福岛核事故 8 周年后的反思与教训

李文红¹ 周强¹ 杨宝路¹ 刘强²

¹中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所, 辐射防护与核应急中国疾病预防控制中心重点实验室, 北京 100088; ²中国医学科学院放射医学研究所, 天津市放射医学与分子核医学重点实验室 300192

通信作者: 刘强, Email: liuqiang@irm-cams.ac.cn

【摘要】 2011年3月11日发生的日本福岛第一核电站核事故虽已过去8年, 但其社会影响和人群健康风险是公众持续关注的主要问题。笔者分析了福岛第一核电站核事故发生之后8年来的状况及世界权威组织发布的文献资料, 客观评价了其对环境及健康的影响, 总结了其经验教训及对我国的启示。

【关键词】 福岛核事故; 环境; 健康影响评估; 核电发展

基金项目: 国家科技支撑计划(2013BAK03B00); 中国医学科学院医学与健康科技创新工程项目(2017-I2M-1-016)

DOI: [10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2019.02.002](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2019.02.002)

Lessons and introspection of Fukushima Nuclear Accident eight years latter

Li Wenhong¹, Zhou Qiang¹, Yang Baolu¹, Liu Qiang²

¹Key Laboratory of Radiological Protection and Nuclear Emergency, National Institute for Radiological Protection, China CDC, Beijing 100088, China; ²Tianjin Key Laboratory of Radiation Medicine and Molecular Nuclear Medicine, Institute of Radiation Medicine, Chinese Academy of Medical Science, Tianjin 300192, China

Corresponding author: Liu Qiang, Email: liuqiang@irm-cams.ac.cn

【Abstract】 Eight years since the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident (March 11, 2011), social impact and health risk remain as major and continuous public concerns. This study analyzes the situation of Fukushima nuclear accident after March 11, 2011 and the reports published by international authority organizations. This work also assesses the impact of Fukushima nuclear accident on the environment and human health after eight years and summarizes its lessons for China.

【Key words】 Fukushima nuclear accident; Environment; Health impact assessment; Development of nuclear power

Fund programs: National Science and Technology Support Plan (2013BAK03B00); Medical and Health Science and Technology Innovation Project of Chinese Academy of Medical Sciences (2017-I2M-1-016)

DOI: [10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2019.02.002](https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2019.02.002)

在全球核能产业发展的历史上, 人类遭遇过多次核安全事故的打击。1957~1999年, 全球发生了10次引人注目的核事故^[1]: 1957年10月10日英国温斯克尔大火导致大量放射性污染物外泄, 此次核灾难是美国三哩岛核电站事故发生前最为严重的反应堆事故; 1966年1月17日西班牙帕利马雷

斯氢弹事故; 1968年1月21日美国图勒核事故; 1970年12月18日美国加卡平地核事故; 1979年3月28日美国三哩岛核电站事故; 1985年8月10日符拉迪沃斯托克 K-431 核潜艇事故; 1986年4月26日前苏联切尔诺贝利核泄漏事故, 此次事故产生的放射性尘降物数量是在日本广岛投掷的原

子弹释放量的400倍；1987年9月13日巴西戈亚尼亚辐射事故；1993年4月6日俄罗斯托木斯克核爆炸事故；1999年9月30日日本东海村核事故。近年来的重大核事故是2011年3月11日在日本发生的福岛第一核电站事故^[2]，地震和海啸造成了场内供电线路和安全基础设施的严重破坏，叠加效应导致最为严重的七级核事故，虽然时间已经过去8年，但福岛核事故的影响依然存在。回首过去，审视当前，展望未来，笔者总结了在人类核能产业发展中值得反思的经验和教训。

1 福岛核事故回顾

2011年3月11日的日本大地震及其引发的海啸重创了日本东北部地区，由此引发的核事故给福岛带来的严重伤害现在仍历历在目。由于核泄漏，原本物产丰饶、环境优美的福岛变得令人生畏，至今依然有大片土地被划为“禁区”，事故带来的环境污染和人群健康问题，给人们留下了难以抹去的阴影，也彻底改变了福岛的命运。

福岛核事故所导致的核泄漏对海洋生物造成了威胁。当福岛第一核电站事故发生后，大量放射性同位素污染了空气及海洋，随着食物链对长半衰期同位素的累积，污染物会造成鱼类和海洋哺乳类生物群体死亡率的增加。这些海洋生物被人类摄入后，会对人体造成直接的危害^[3]。

联合国原子辐射效应科学委员会 (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR) 在福岛核事故发生后进行了剂量估算。众所周知，来自天然辐射的个人有效剂量，全球年平均为2.4 mSv，对甲状腺的年平均吸收剂量通常为1 mGy量级。而根据UNSCEAR报道，福岛核事故发生后，估算甲状腺相应平均吸收剂量约为30 mGy，估计1岁婴儿所受有效剂量约为成人的2倍，其甲状腺所受剂量估计为70 mGy左右，其中一半是通过膳食摄入放射性核素所致，但不同个体之间这一数值的差异很大，主要取决于其所处位置及所摄入的食物^[4]。估计居住在福岛县的居民在核事故发生后第1年成人所受有效剂量平均约为4 mSv，而1岁婴儿所受的有效剂量约比成人高出1倍。平均来看，继续居住在福岛县的人终生所受有效剂量估计超过10 mSv。这一估算是基于未来不会采取补救措施来减少剂量的假设，因此

可能会导致过高估计。得出这一估算剂量考虑的最重要来源是沉积放射性物质的外照射。对甲状腺和全身放射性物质含量的测量结果表明，内照射所致剂量低于UNSCEAR的估算剂量，甲状腺剂量低至1/5~1/3，而全身剂量低至约1/10，因此，其剂量估算值可能高于实际照射值^[5-6]。

2 福岛核事故8周年以来对人体健康的影响

福岛核事故已过去8周年，其对人体健康的影响究竟有多大，是当前人们所关心的问题。UNSCEAR在2013年报告书中对福岛事故的影响进行了评估：事故导致先后撤离的居民约88 000人，产生了大量放射性固体废物和液体废物，估计成人在撤离前及撤离中所受有效剂量平均不到10 mSv，1岁婴儿所受有效剂量约为成人的1倍。到2012年10月底，大约有25 000名工作人员参加了福岛第一核电站现场减灾等活动，事故发生后的19个月期间平均所受有效剂量约为12 mSv，其中0.7%的工作人员所受剂量超过了100 mSv^[7]。UNSCEAR的最新报告书中对福岛核事故产生的影响：事故发生后受到超过100 mSv暴露的人群未来癌症风险将增加，但发病率的具体变化还需更长时间的观察，其对海洋和陆地非人类物种产生的急性效应很难观察到，对海洋生物的影响限于高放射性水释放点附近，在放射性物质沉降很高的有限区域内，不能排除某些生物的生物指标发生连续变化^[4]。总体而言，福岛核事故导致的经济损失巨大，但对人和环境的辐射影响尚处于有限的范围，然而，其社会影响仍是公众难以接受的^[8]。2013年以后，UNSCEAR继续关注并分析了新出版的有关文献。这些文献的主要结论与UNSCEAR的报告基本一致，没有文献提出与UNSCEAR报告主要结论不同的意见^[9]，但事故的后远期影响有待进一步研究和分析。

3 福岛核事故的教训

总结福岛核事故的教训，从导致此次事故的原因分析，主要有如下几个方面^[10-11]。第一，核设施抵抗地震能力差、超役工作、设备老化、技术落后、抗风险程度相对较弱、紧急情况考虑不周和安全的多重防御设施不完善等，说明核电站在当时设计时没有考虑到如何防范特大地震和海啸等重大自

然灾害的影响。第二,地震与海啸固然是天灾,而福岛核事故仍然存在人祸的因素:在设计与建造过程中多方降低技术要求,出于节省考虑,过分降低了厂址地面标高;放弃了对紧急备用柴油发电机厂房的保护与防水要求;把蓄电池组可靠电源的容量由常见的72 h减少为实际只有18 h。第三,出现问题时的应对措施不及时。例如,在多年的运行过程中曾屡次发现安全隐患,但一直未进行有效整改,以至于在紧急事故下,安全冷却系统和安全注水阀门都打不开;而且事故发生后为了避免引起法律诉讼与赔偿责任,未能及时采取有效救援的大动作,从而失去了最佳的挽救机会。第四,事故发生后的信息公开和公众沟通不畅。当地政府和管理部门在事故发生后未及时、透明地向公众公开事故的相关信息,造成事故的实际影响和政府公布的信息不对称等,导致公众对政府的不信任。随着事故的进展,公众的焦虑和不安心理越来越严重。尽管在整个事故过程中并没有人员受到过度的辐射伤害,但是在核电站周围被撤离的居民中出现了死亡率高于其他正常生活人群的现象,这主要是由于公众的高度焦虑不安,加之紧急撤离导致生活条件突然发生剧烈变化而产生极度悲观失望情绪所造成的^[12]。

4 福岛核事故8周年后的反思

反思福岛核事故,该事故基本上是可以避免的。自然灾害只是引发后续核灾难的诱因^[13]。福岛第一核电站事故是全球性的核事故,国际原子能机构在关于福岛核事故的报告中指出,在必须贯彻安全监管准则和程序的情况下,考虑到人、组织和技术相互间的组合,形成“安全问题作为压倒一切的事项”,根据其重要级别应得到相应重视^[14]。只有铭记福岛核事故的惨痛教训,我们今后才可能不重蹈覆辙。

5 结语

日本福岛核事故已过去8周年,需要关注的后续工作还很多,例如核事故后的生态环境影响及其恢复、对人类的健康影响、如何消除污染和处理废物等。这将耗费当地政府大量的人力、物力和财力,而且其影响将是长期的。因此,防患于未然才是世界各国需要重点考虑的问题。“安全是核电的生命”,全球各国应从福岛核事故的教训中得到警

醒,应从管理方面下大力度提高人员的安全意识,通过主动学习经验教训来加强安全文化教育。安全保障是核电健康发展和运行的重中之重。总之,无论是三哩岛核事故、切尔诺贝利核事故,还是福岛核事故,都不应该成为阻碍核电发展的理由。在保障安全的前提下,加快发展核电,相信核能一定能够在全球能源保障及根本改善能源结构方面做出越来越多的贡献。

利益冲突 本研究由署名作者按以下贡献声明独立开展,不涉及任何利益冲突。

作者贡献声明 李文红负责论文的撰写和修改;周强和杨宝路负责文献的收集和整理;刘强负责论文的审阅和修改。

参 考 文 献

- [1] 官慧. 核安全进化论——世界历次核事故给核能发展带来的启示[J]. 中国核工业, 2011, (4): 14-19.
Guan H. Evolution of nuclear safety—the enlightenment brought by the world's nuclear accidents to the development of nuclear energy[J]. China Nucl Ind, 2011, (4): 14-19.
- [2] 王亮, 陈鲁, 韩冰, 等. 福岛核事故后日本的食物和饮用水管理及健康效应[J]. 武汉理工大学学报: 信息与管理工程版, 2017, 39(2): 135-139, 143. DOI: 10.3963/j.issn.2095-3852.2017.02.003.
Wang L, Chen L, Han B, et al. The food and drinking water management and radiological impact after Fukushima nuclear accident[J]. J WUT (Inf Manage Eng), 2017, 39(2): 135-139, 143. DOI: 10.3963/j.issn.2095-3852.2017.02.003.
- [3] 李文红, 李卓. 地震和海啸引发福岛核灾难的深思[J]. 中国医学装备, 2013, 10(9): 48-51. DOI: 10.3969/J.ISSN.1672-8270.2013.09.019.
Li WH, Li Z. Thinking of nuclear disaster caused by earthquake and tsunami in Fukushima[J]. China Med Equip, 2013, 10(9): 48-51. DOI: 10.3969/J.ISSN.1672-8270.2013.09.019.
- [4] United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation. Developments since the 2013 UNSCEAR report on the levels and effects of radiation exposure due to the nuclear accident following the great east-Japan earthquake and tsunami[R]. New York: UNSCEAR, 2016: 1-41.
- [5] 姜庆寰, 李明生. 福岛核事故的辐射剂量以及对公众成员的健康影响[J]. 中国医学装备, 2017, 14(6): 137-140. DOI: 10.3969/J.ISSN.1672-8270.2017.06.038.
Jiang QH, Li MS. The radiation dose of Fukushima nuclear accident and its effect for health of public members[J]. China Med Equip, 2017, 14(6): 137-140. DOI: 10.3969/J.ISSN.1672-8270.2017.06.038.
- [6] Tsukazaki A, Taira Y, Orita M, et al. Seven years post-Fukushima: long-term measurement of exposure doses in

- Tomioka Town[J]. *J Radiat Res*, 2019, 60(1): 159-160. DOI: 10.1093/jrr/rry082.
- [7] United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation. UNSCEAR 2013 Report vol. I: sources, effects and risks of ionizing radiation[R]. New York: UNSCEAR, 2014: 1-725.
- [8] 潘自强. 切尔诺贝利和福岛核事故对人体健康影响究竟有多大?[J]. *中国核电*, 2018, 11(1): 11-14. DOI: 10.12058/zghd.2018.01.011.
- Pan ZQ. How much impact of Chernobyl and Fukushima nuclear accidents on human health?[J]. *China Nucl Power*, 2018, 11(1): 11-14. DOI: 10.12058/zghd.2018.01.011.
- [9] Orui M, Nakajima S, Takebayashi Y, et al. Mental health recovery of evacuees and residents from the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident after seven years-contribution of social network and a desirable lifestyle[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2018, 15(11): 2381. DOI: 10.3390/ijerph15112381.
- [10] Sato N, Orita M, Taira Y, et al. Seven years post-Fukushima: overcoming the resident-specialist gap[J]. *J Radiat Res*, 2018, 59(4): 526-527. DOI: 10.1093/jrr/rry037.
- [11] 李文红, 刘强. 日本福岛核事故的反思[J]. *国际放射医学核医学杂志*, 2012, 36(1): 38-41. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2012.01.010.
- Li WH, Liu Q. Reflection for the nuclear accident in Fukushima, Japan[J]. *Int J Radiat Med Nucl Med*, 2012, 36(1): 38-41. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4114.2012.01.010.
- [12] Matsunaga H, Orita M, Iyama K, et al. Intention to return to the town of Tomioka in residents 7 years after the accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station: a cross-sectional study[J]. *J Radiat Res*, 2019, 60(1): 51-58. DOI: 10.1093/jrr/rry094.
- [13] 腾讯科学. 切尔诺贝利 30 周年福岛 5 周年: 本可避免的核事故 [EB/OL]. (2016-04-26)[2019-01-08]. <http://tech.qq.com/a/20160426/007937.htm>.
- Tencent Science. Chernobyl 30th anniversary Fukushima 5th anniversary: avoidable nuclear accident[EB/OL]. (2016-04-26)[2019-01-08]. <http://tech.qq.com/a/20160426/007937.htm>.
- [14] International Atomic Energy Agency. IAEA international peer review mission on mid-and-long-term roadmap towards the decommissioning of TEPCO's Fukushima Daiichi nuclear power station units 1-4[R]. Vienna: IAEA, 2018: 1-58.
- (收稿日期: 2019-01-08)



读者 · 作者 · 编者

2019 年本刊可直接使用缩写形式的常用词汇

- ATP**(adenosine-triphosphate), 三磷酸腺苷
- CI**(confidence interval), 可变区间
- CT**(computed tomography), 计算机断层摄影术
- CV**(coefficient of variation), 变异系数
- DNA**(deoxyribonucleic acid), 脱氧核糖核酸
- DTPA**(diethylene-triaminepentaacetic acid), 二亚乙基三胺五乙酸
- FDG**(fluorodeoxyglucose), 氟脱氧葡萄糖
- GTV**(gross tumor volume), 大体肿瘤体积
- IL**(interleukin), 白细胞介素
- IMRT**(intensity-modulated radiation therapy), 调强适形放疗
- MDP**(methylenediphosphonate), 亚甲基二膦酸盐
- MIBI**(methoxyisobutylisonitrile), 甲氧基异丁基异腈
- MRI**(magnetic resonance imaging), 磁共振成像
- MTT**(3-(4, 5-dimethylthiazol-2-yl)-2, 5-diphenyltetrazolium bromide), 3-(4, 5-二甲基噻唑-2)-2, 5-二苯基四氮唑溴盐
- PBS**(phosphate-buffered solution), 磷酸盐缓冲液
- PCR**(polymerase chain reaction), 聚合酶链反应
- PET**(positron emission tomography), 正电子发射断层显像术
- RBC**(red blood cell), 红细胞
- RNA**(ribonucleic acid), 核糖核酸
- ROI**(region of interest), 感兴趣区
- RT-PCR**(reverse transcription-polymerase chain reaction), 逆转录-聚合酶链反应
- SER**(sensitization enhancement ratio), 放射增敏比
- SPECT**(single photon emission computed tomography), 单光子发射计算机断层显像术
- SUV**(standardized uptake value), 标准化摄取值
- SUV_{max}**(maximum standardized uptake value), 最大标准化摄取值
- SUV_{min}**(minimum standardized uptake value), 最小标准化摄取值
- T₃**(triiodothyronine), 三碘甲腺原氨酸
- T₄**(throxine), 甲状腺素
- TNF**(tumor necrosis factor), 肿瘤坏死因子
- TNM**(tumor, node, metastasis), 肿瘤、结节、转移
- T/NT**(the ratio of target to non-target), 靶/非靶比值
- TSH**(thyroid-stimulating hormone), 促甲状腺激素
- WBC**(white blood cell count), 白细胞计数