

# 福岛核电站事故研究报告

Log Creative<sup>1</sup>

## 简介

2011年3月11日，东日本大地震发生。海啸造成福岛第一核电站三个机组核燃料熔融，产生了大量核辐射。本文通过参考NHK几年来制作的纪录片以及其他资料，阐述福岛核电站的事故过程与后果，并对这一事件所给予的教训进行了探讨。

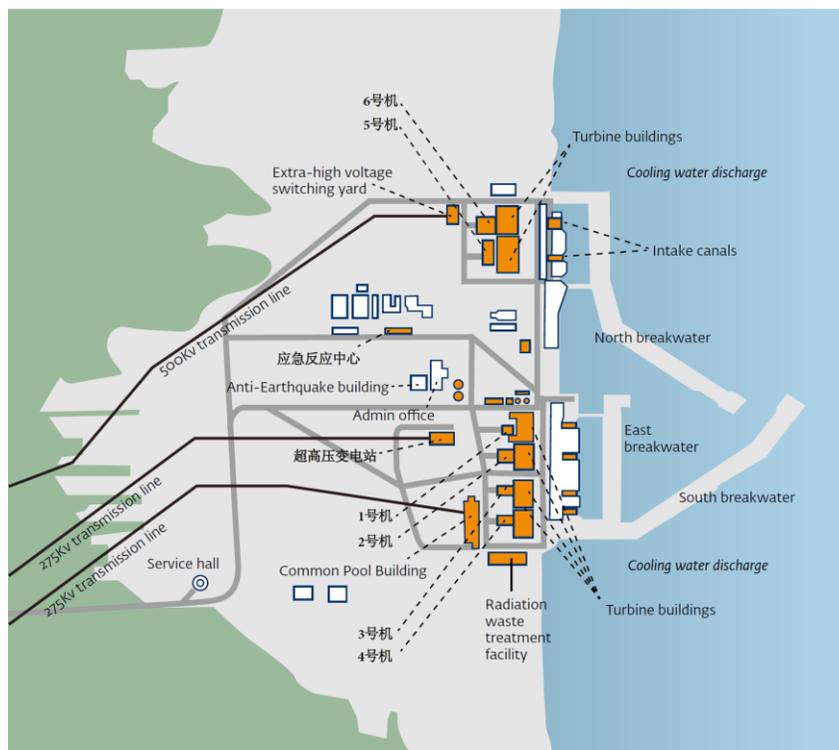


图1 福岛第一核电站平面示意图 (Japan, 2012)

<sup>1</sup> Finished on Mar 23, 2019.

# 应急处理

## 1 号机

2011年3月11日14时46分，东日本大震灾发生，控制棒插入，紧急停止。但是核燃料仍在进行反应，需要冷却。在地震发生6分钟后，隔离冷却器(IC)自动启动。

15时37分，海啸侵袭福岛核电站，外部和备用电力全部丧失，无法判断隔离冷却器是否在工作。

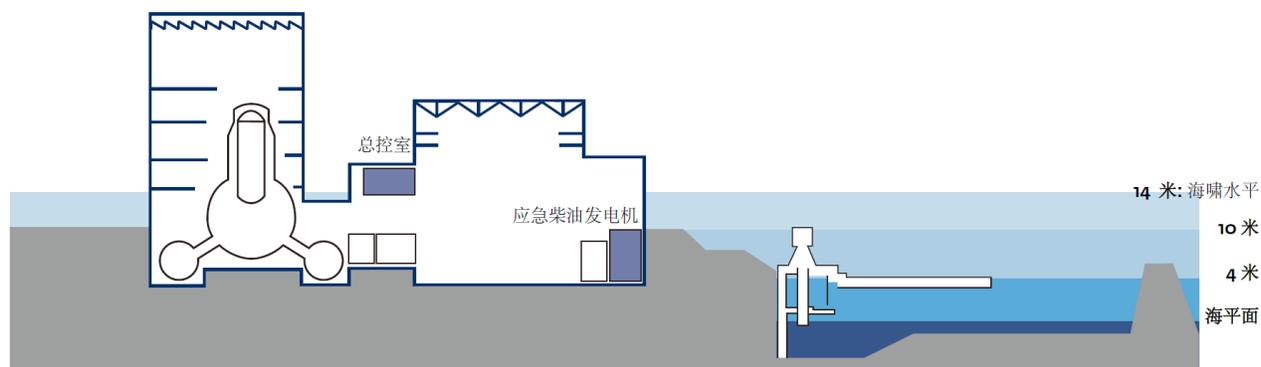


图 2 核电站截面与水位 (Japan, 2012)

16时44分，工作人员在外边看到“猪鼻子”中慢慢腾出来水蒸气，由于缺少相关经验，现场指挥中心便以此为依据认为隔离冷却器还在工作，事实上此时其已经停止工作。没有得到有效冷却的1号机，原子炉的水位已经开始降低。

18时许，随着一部分电池恢复运行，核电站总控室人员发现隔离冷却器没有在运行。18时18分，隔离冷却器再次被启动。然而，仅7分钟后，因“猪鼻子”不再喷出蒸汽，指挥人员担心冷凝水已经用完，如果干烧下去可能会损坏隔离冷却器的内部管道，导致放射性物质泄漏到外部。经资料查询，确认冷凝水的量可供10小时的使用，继而在3小时后隔离冷却器重新被启动。然而此时核燃料急速熔融，已无力回天。

3月12日5时46分，开始通过消防车通过注水管道向反应堆注入海水。但是，由于炉内的高压和注水管道存在很多分叉，最新的分析表明，只有1%的水到达了反应堆。

在 15 时 36 分，1 号机发生了氢爆，导致 1 号机的建筑被炸毁。由于组织联系的不充分和应急预案的不足，直到 3 月 23 日，1 号机才开始被有效冷却。(熔融的核炉 12 天才冷却的真相, 2017)

## 2 号机

虽然 2 号机没有发生氢爆，但是产生最严重后果的却正是 2 号机。

3 号机发生氢爆后 2 小时，2 号机的炉心隔离冷却器(RCIC)停止了冷却。此后炉内水位出现大幅下降，产生高压，无法从注水口向炉内注入冷却水。为了减压排压，就要开启减压安全阀(SRV)。然而在这个关键的时刻，因为原子炉的整体温度升高，导致推动安全阀开启的所需要的氮氧压力高于设计值，减压安全阀无法被开启。没有成功减压的 2 号机，核燃料大约于 3 月 14 日 20 时 15 分熔融。

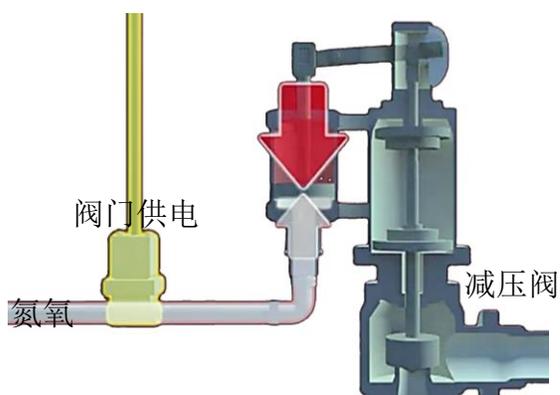


图 3 事故时的安全减压阀(SRV)

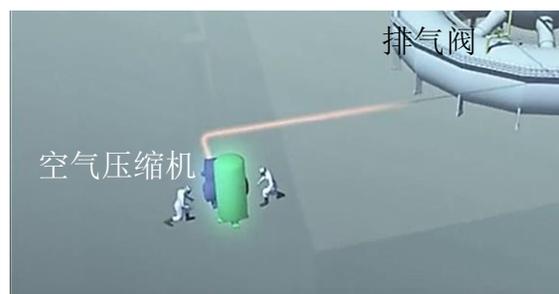


图 4 移动空气压缩机向排气阀输送空气

使事件恶化的是，熔融的核燃料进入干井——最后一道防线的时候，因为温度太高，需要通过排气减少干井中的压力，防止爆炸。但是，与排气阀相连的空气压缩机在断电后无法工作。而接入移动空气压缩机使其工作时，疑似因地震强度过大，空气输送管被震裂了，仍然无法排气。此时，干井内的辐射已经高达 29 Sv 的致死量，无法派人进入干井手动开启排气阀，至此陷入了绝境。

无法减压的 2 号机，于 3 月 15 日早上 6 点发生内部氢爆，干井破损，压强降至大气压，放射性气体泄漏。(连锁反应的真相, 2012) (Society, 页 12)

### 3号机 4号机

3月12日，3号机的高压冷却(HPCI)仍在工作着，但供其工作的电池耗尽是迟早的事情。当晚，因电量不足，3号机的安全减压阀(SRV)无法打开。虽然日本自卫队在事故后立刻向核电站送去了电池，但是送来电池的规格却是常规2V的，而不是12V的，意味着无法供工作电压为120V的阀门工作。而东京电力公司方面，12V的电池却不是优先运输物资。最终只好由当场员工去搜寻车上的电瓶以供串联供电。

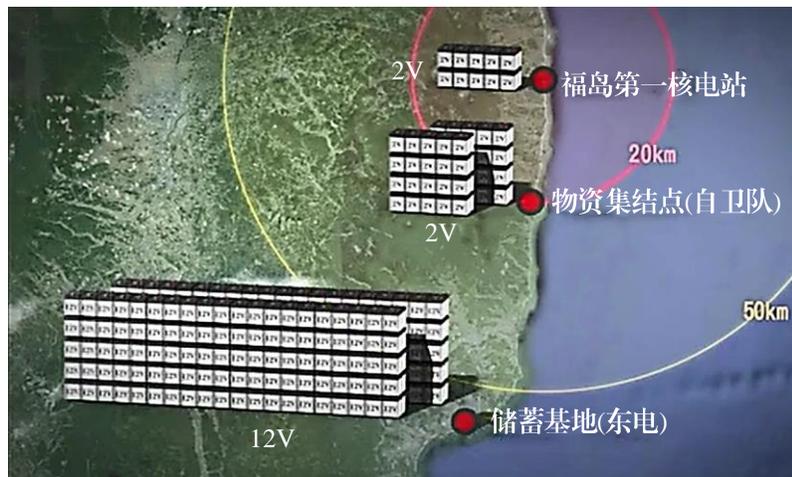


图5 电池位置、规格及相对数量（13日）

13日，东京电力公司的几千个12V电池停在了50km外的储蓄基地，因为辐射严重，没有进入污染区的办法。这样，孤立无援的3号机，因无法打开减压阀，在早上5时许冷却水位已经到达核燃料下端(TAF -2000)。停止冷却6小时后，终于接入车用电瓶，但氢气早已跑到建筑上方。

14日早上11时01分，3号机发生氢爆。(连锁反应的真相, 2012)

15日早上6时许，因为通过3号与4号机沟通管，氢气早已进入4号机，4号机氢爆。(Japan, 2012)

# 辐射与后果

## 后续处理不当

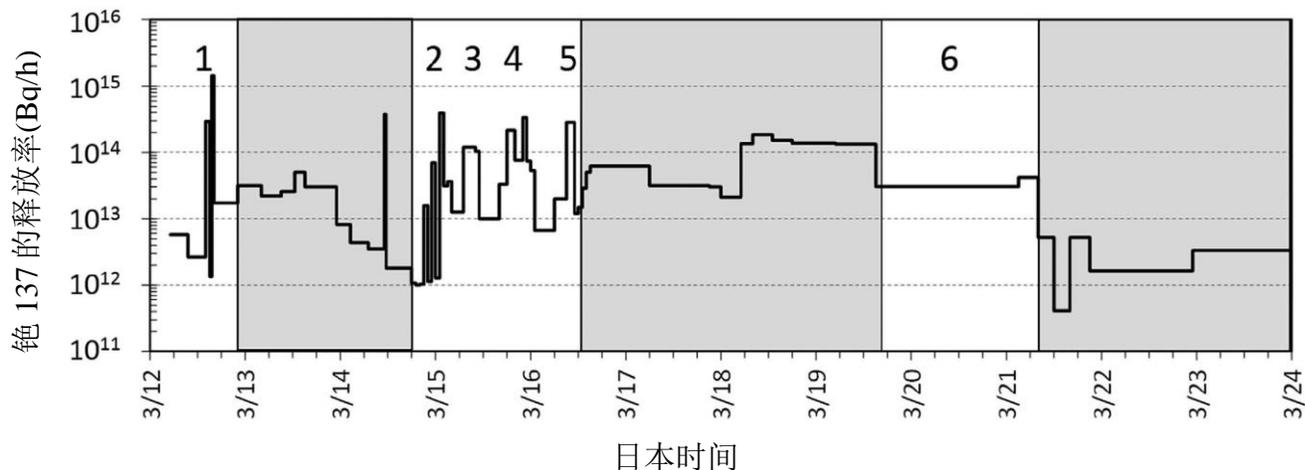


图 6 东日本的大气中 <sup>137</sup>Cs 的平均释放率 (Katata, 以及其他, 2014) (Chino, et al., 2016)

上图显示了铯 137 这种放射性物质的释放率。12 日的突增是因为 1 号机的氢爆，14 日的是因为 3 号机的氢爆，15 日的是因为 2 号机的干井破损和 3 号机内压上升。而 18 日至 22 日虽然没有重大的事情发生，但辐射量却达到了事故整体放射量的 40%。

最新的数据 (Aya Sakaguchi, 2018) 表明，距离核电站最近的双叶町监测站在 18 日至 20 日出现三次峰值，而这几次峰值都可与 12 日至 15 日的峰值相匹敌。而导致这一现象的直接原因是东京电力公司于 17 日决定减少注水量。

安全员根据当时的应急操作指南，认为注水量过多，可能会导致多余的水流向压力抑制室，导致安全壳内的压力上升以致损坏。但事实上当时柏崎刈羽核电站所长就认为使用消防车注水可能会有分流，到达反应堆的水可能没有这么多。遗憾的是，因为各部分人员使用辐射联系形式，横向联系不够紧密，而且提出反对时，福岛核电站所长在关注许多其他部分的问题，这一观点因此石沉大海。

因为可使用的电池有限，以及反应堆内水位计作为优先恢复对象，所以温度计的读数恢复被推迟了。更糟糕的是，水位计当时事实上发生了故障，外部电源恢复因作业优先级问题而迟迟没有开始。终于在 3 月 19 日，中央控制室通电发现反应堆内温度超过了 300℃，才意识到为时已晚。(被抑制的冷却水, 2018)

## 被辐射污染的家园

由于核电站事故，以福岛第一核电站为中心，半径超过 20km 的地带成为了无人区。被迫避难居民最多的区域，浪江町，森林中平均辐射剂量约为 10 mSv/h (辐射之森, 2016)，是自然放射量 (0.04 mSv/h) 的 250 倍；而一些辐射集中区域，辐射量达到了 110 mSv/h。

研究这一区域采集到的生物样本，发现所有生物体内都有或多或少的辐射残留，而且越高的营养级残留量越多。目前，对一些生物的染色体变异还没有明显的影响。

而在对与人类同为灵长类的动物猴子进行研究时，发现由于吃了过多的放射性食物，体内已经出现了比较明显的异常，其中血液、肌肉的异常已经被发现。

城镇在人类离开后，成为了野生动物的天堂。它们占领了整个区域。在对野生动物的跟踪调查中，发现它们肆无忌惮地进入废弃的房屋，吃着房间里的食物，成群结队地在大街上游荡。而且在五年没人的城镇中，像野猪这样平时怕人的动物，不仅进入人类的住所，而且会尝试威胁人类离开自己的领地，关系发生了巨大的转变。(辐射之森, 2016)

而另一方面，还有 3 万 5 千被迫避难的人在辐射区外只能住在临时住宅里，一些人等待辐射散去回迁，另一些人惧怕辐射不愿回迁。(临时住宅住 6 年带来的问号, 2017)而且，由于辐射仍然较高，回迁后的农业发展也会受阻，纵使政府给予补贴，但补贴具有时限，村民短期内经济依然拮据。而且因为地方经济问题，村长通过一些措施推进回迁，包括兴建设施、给予补贴、停止临时支持等，但是这对于那些惧怕辐射的人来说，这些措施更是割裂了村民与村子的关系。而去除污染的工作困难重重，很难达到人们的期望，加额的赔偿又遥遥无期。

而对于已经解除避难指示的地方，如叶町镇，回迁人数只占 1 成，城镇的延续已经成了问题，而复兴的方案也没有得到很好的实施。(避难指示同时解除, 2017)

辐射的难以去除与政府政策不到位，让这些幸存者仍然无家可归。

## 教训与预警

2011 年的东日本大地震，让我们看到了大自然的威力，也看到了核能的潜在危险性。

本来是一场可以控制的灾害，却因为应急处理与后续处理的严重不足，让辐射后果变得不可遏制。多年来没有更新的设备以及没有有效预案的团队成了两大根本原因。可见，

要想发展核能，让核能为我们更为有效的服务，首先要保证的就是安全。而安全靠的就是从上到下的一致防患意识以及技术的不断进步，不能在第四次重大核事故发生后才猛觉为时已晚。

世界各地，包括中国，都应该对核电问题给予高度重视，要寻找安全与效率之间的平衡，不能盲目提量而不提质。在危险来临时，国家的应急系统应当完备，才能控制局势。否则，核泄漏伤害影响的将不仅仅是一个地域，更是整个世界。

## References

- Aya Sakaguchi, H. C. (2018, 3 30). Estimation of desorption ratios of radio/stable caesium from environmental samples (aerosols and soils) leached with seawater, diluted seawater and ultrapure water. *GEOCHEMICAL JOURNAL*, pp. 187-199.
- Chino, M., Terada, H., Nagai, H., Katata, G., Mikami, S., Torii, T., . . . Nishizawa, Y. (2016). Utilization of  $^{134}\text{Cs}$ / $^{137}\text{Cs}$  in the environment to identify the reactor units that caused atmospheric releases during the Fukushima Daiichi accident. *Scientific Reports*, 6(1), 31376. Retrieved 3 10, 2019, from <https://nature.com/articles/srep31376>
- Japan, T. N. (2012). *The official report of The Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission*. The National Diet of Japan. Retrieved 3 1, 2019, from [https://www.nirs.org/wp-content/uploads/fukushima/naiic\\_report.pdf](https://www.nirs.org/wp-content/uploads/fukushima/naiic_report.pdf)
- Katata, G., Katata, G., Chino, M., Kobayashi, T., Terada, H., Ota, M., . . . Sanada, Y. (2014). Detailed source term estimation of the atmospheric release for the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident by coupling simulations of an atmospheric dispersion model with an improved deposition scheme and oceanic dispersion model. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15(2), 1029-1070. Retrieved 3 10, 2019, from <https://atmos-chem-phys.net/15/1029/2015/acp-15-1029-2015.html>
- Society, A. N. (n.d.). *FUKUSHIMA DAIICHI: ANS Committee Report*. (D. Klein, & M. Corradini, Eds.) Retrieved 3 1, 2019, from [http://fukushima.ans.org/report/Fukushima\\_report.pdf](http://fukushima.ans.org/report/Fukushima_report.pdf)
- 被抑制的冷却水 (2018). [Motion Picture]. Retrieved 3 9, 2019, from <https://www.bilibili.com/video/av40994684>
- 避难指示同时解除 (2017). [Motion Picture]. Retrieved from <https://www.bilibili.com/video/av9225785>

辐射之森 (2016). [Motion Picture]. Retrieved 3 9, 2019, from  
<https://www.bilibili.com/video/av4586179>

连锁反应的真相 (2012). [Motion Picture]. Retrieved 3 2019, 8, from  
<https://www.bilibili.com/video/av4495286/?p=2>

临时住宅住 6 年带来的问号 (2017). [Motion Picture]. Retrieved from  
<https://www.bilibili.com/video/av9283932>

熔融的核炉 12 天才冷却的真相 (2017). [Motion Picture]. Retrieved 3 1, 2019, from  
<https://www.bilibili.com/video/av9170754>