

## ■ 福岛核事故重大事件序列及处理

在日本标准时间 2011 年 3 月 11 日 14 时 46 分，日本发生了 9.0 级大地震，震源深度约 25 公里（15 英里），震中位于仙台以东 130 公里（81 英里）的海域，在东京东南约 372 公里（231 英里）。这次地震造成东北海岸四个核电厂的共 11 个反应堆自动停堆（女川核电厂 1、2、3 号机组；福岛第一核电厂 1、2、3 号机组；福岛第二核电厂 1、2、3、4 号机组和东海核电厂 2 号机组）。此次地震引发了海啸，海啸浪高超过福岛第一核电厂的厂址标高 14 米（45 英尺）。此次地震和海啸对整个日本东北部造成了重创，约 20000 人死亡或失踪，成千上万的人流离失所，并对日本东北部沿海地区的基础设施和工业造成了巨大的破坏。



图 3-1 受 3.11 大地震影响的核电站位置

受事故影响的核电站概况

序号	机组名称	堆型	电功率	营运单位	商运时间	地震时所处状态
1	福岛第一核电站-1	BWR-3	439 MWe	东京电力	1971 年 3 月	运行
2	福岛第一核电站-2	BWR-4	760 MWe		1974 年 7 月	运行
3	福岛第一核电站-3	BWR-4	760 MWe		1976 年 3 月	运行

4	福岛第一核电站-4	BWR-4	760 MWe		1978年10月	换料/大修
5	福岛第一核电站-5	BWR-4	760 MWe		1978年4月	换料/大修
6	福岛第一核电站-6	BWR-5	1067 MWe		1979年10月	换料/大修
7	福岛第二核电站-1	BWR-5	1067 MWe	东京 电力	1982年4月	运行
8	福岛第二核电站-2	BWR-5	1067 MWe		1984年2月	运行
9	福岛第二核电站-3	BWR-5	1067 MWe		1985年6月	运行
10	福岛第二核电站-4	BWR-5	1067 MWe		1987年8月	运行
11	女川核电站-1	BWR	498 MWe	东北 电力	1984年6月	运行
12	女川核电站-2	BWR	796 MWe		1995年7月	正在启动
13	女川核电站-3	BWR	796 MWe		2002年1月	运行
14	东海第二核电站	BWR	1060 MWe	原子能 发电公 司	1978年11月	运行
15	东通核电站-1	BWR	1067 MWe	东北 电力	2005年2月	换料/大修

### 地震对核电厂的影响

此次地震中宫城县的栗原震度达到7级（日本震度分为0~7共十级，与我国不同），福岛县的樽叶、富冈、大隈和双叶的震度在6级以上，宫城县的石卷、女川以及茨城县的东海的震度在6级以下，新潟辖区的刈羽的震度在5级以下，青森辖区的在六所村、东通、陆奥、大间以及新潟辖区的柏崎的震度在4级。

地震所产生的地面加速度未超过福岛第一核电站1、4、6号机组的设计基准，而2、3、5号机组的地面加速度超出设计基准。根据福岛核电站观察到的地震形势，在反应堆厂房基础地板上观察的地震移动的加速度反应谱，超过了用于福岛第一核电站部分周期波段的标准地震表面移动  $S_s$  的加速度反应谱。

至于福岛第二核电站，在反应堆厂房基础地板上观察的地震移动的加速度反应谱，低于周期波段的标准地震地表移动  $S_s$  的加速度反应谱。

在福岛第一核电站外部供电系统的破坏方面，在地震发生时，总共有6路外电源连接到

福岛第一核电站。然而，由于断路器等遭到破坏以及输电塔因地震而倒塌，全部六路外电源均停止了供电。

在福岛第二核电站，地震发生时，总共有 4 路外电源供电。在地震发生以后，只有一路继续保持供电（一路维修中，一路因为地震停止供电，另外一路也发生断电）。（在震后的第二天，也就是 3 月 12 日 13: 38，一路供电线恢复，自此共有两路供电线路。）

女川核电站 5 条外部供电线路中有 4 路因为地震而无法使用，只有 1 条保持可用。

东通核电站所有 3 条外部电力供应线由于地震中断，电力由应急柴油发电机供应。

东海第二核电站 3 条厂外电源全部丧失，3 台应急柴油发电机自动启动。

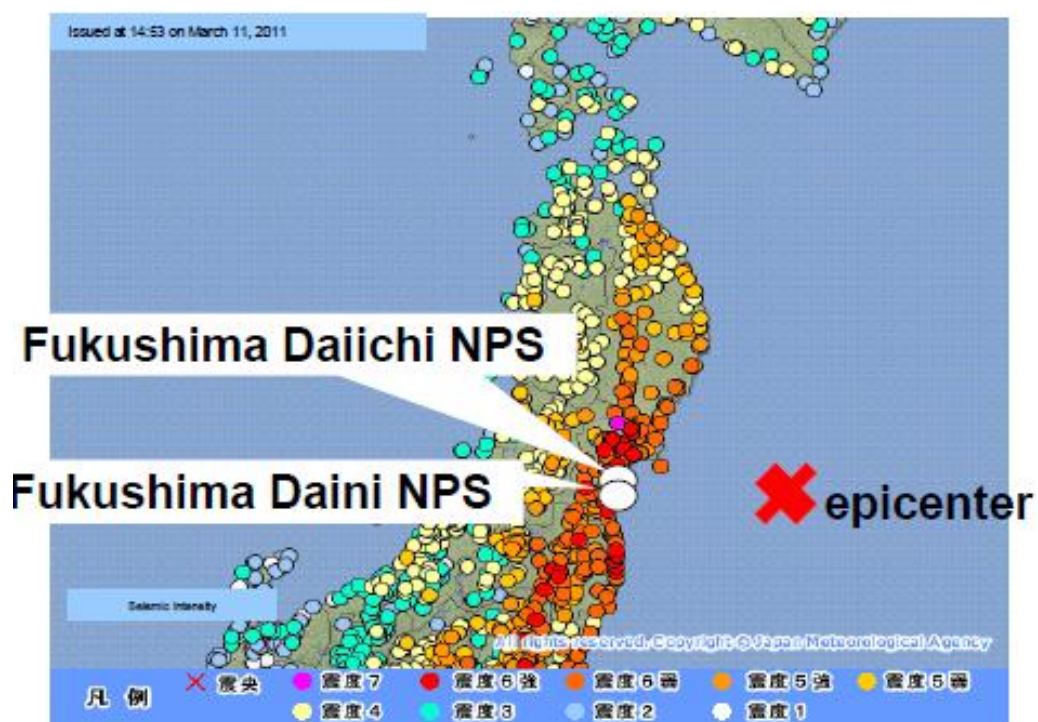


图 3-2 3.11 大地震震度分布图

Observation Point (The lowest basement of reactor buildings)		Observed data (*interim)			Maximum Response Acceleration against Basic Earthquake Ground Motion (Gal)		
		Maximum Response Acceleration (gal)			Horizontal (N-S)	Horizontal (E-W)	Vertical
		Horizontal (N-S)	Horizontal (E-W)	Vertical			
Fukushima Daiichi	Unit 1	460*2	447*2	258*2	487	489	412
	Unit 2	348*2	550*2	302*2	441	438	420
	Unit 3	322*2	507*2	231*2	449	441	429
	Unit 4	281*2	319*2	200*2	447	445	422
	Unit 5	311*2	548*2	256*2	452	452	427
	Unit 6	298*2	444*2	244	445	448	415
Fukushima Daini	Unit 1	254	230*2	305	434	434	512
	Unit 2	243	196*2	232*2	428	429	504
	Unit 3	277*2	216*2	208*2	428	430	504
	Unit 4	210*2	205*2	288*2	415	415	504

\*1 上述数据是临时的会有变化

\*2 记录的时间大约 130-150 秒

图 3-3 基准地震地面运动与记录地震强度的对比



图 3-4 地震对福岛第一核电站产生的破坏





图 3-5 地震对福岛第二核电站产生的破坏

另外，地震造成了地面有多处人孔、裂缝和塌陷，在早期响应阶段还有多次余震，对早期响应工作、设备的运输产生了影响。

### 海啸对核电厂的影响

地震后 46 分钟，第一波海啸淹没了福岛第一核电站，后续袭来的海啸在随后的几小时进一步加重了电站的被淹和受损状态。福岛第一核电站是以假设最大设计基准海啸浪高 3.1 米为基础建造的，1-4 号机组核岛厂房和汽轮机厂房地坪标高 10 米，5-6 号机组核岛厂房和汽轮机厂房地坪标高 13 米，所有机组的海水热交换器厂房地坪标高 4 米，所以福岛第一核电站原设计为干厂址。在 2002 年，基于日本土木工程师协会（JSCE）推荐的日本核电厂海啸评估方法，福岛第一核电厂最大的水位高度为 5.7 米。根据这个评估结果，东京电力公司（TEPCO）为福岛第一核电厂在其取水渠外侧建造了防 5.7 米海啸的防波堤。但是，这次海啸浪高达到了 14~15 米，厂区洪水深度达到 4~5 米，海啸浪高超出了福岛第一核电站所有机组的设计基准。洪水的影响范围很广，完全包围了福岛第一核电站的所有反应堆厂房。入口处的海水水泵和电动机完全被摧毁，以致最终热阱丧失。所有机组中，用于冷却辅助系统的海水泵设备均因水淹而失效。另外，除了 6 号机组以外，所有机组安装在反应堆厂房和汽轮机厂房地下室的应急柴油发电机和配电盘，都因水淹而失效。海啸使 9 台使用海水冷却的应急柴油发电机全部失灵，并且使三台使用风冷的应急柴油发电机仅剩下一台。6 号机组的风冷应急柴油发电机成为电站 6 个机组中仅存的交流供电电源。在 1、2 号机组，125V 的直流蓄电池供电系统受损，仪表和控制系统都不可用。

地震发生后 37 分钟，第一波海啸淹没了福岛第二核电站，两次后续袭来的海啸浪潮在随后的几小时进一步加重了电站的被淹和受损状态。其核岛厂房和汽轮机厂房地坪标高 12 米，海水热交换器厂房地坪标高 4 米。该核电厂原设计为干厂址，设计基准海水水位为 3.1

米，但在 2002 年日本调整了防海啸标准后，设计基准海水水位提高到了 5.2 米，因此变成了湿厂址，并为此采取了相应的安全措施（在取水渠外侧建造了防 5.2 米海啸的防波堤）。311 大地震后，海啸高度（14 米）超出了电站设防的海啸高度，但厂房的地坪标高为 12 米，因此，水淹程度和范围低于福岛第一核电站。

在福岛第二核电厂区域，海啸爬坡高度 6~14m（最高在 1 号机组区域，最低在 4 号机组区域），福岛第二核电站水淹范围包括所有海水热交换器厂房、1 号机组汽轮机厂房、1 号机组核岛辅助厂房、3 号机组汽轮机厂房。3 号机组汽轮机厂房是由于存在从其海水热交换器厂房到汽轮机厂房的漏水通道导致轻度受淹。所有 8 台余热排出海水泵均受水淹影响，其中除 3 号机组的一台余热排出海水泵 RHR-S 由于运气好而能继续运行外，其他所有 7 台余热排出海水泵受水淹损坏。所有 12 台应急柴油发电机海水冷却泵均受水淹影响，其中除 3 号机组的两台应急柴油发电机 DG-3B、DG-3H 和 4 号机组的一台应急柴油发电机 DG-4H 的海水冷却泵由于运气好而能继续运行外，其他 9 台应急柴油发电机海水冷却泵均受水淹损坏。1 号机组的汽轮机厂房由于其墙体上的通风系统窗口和应急柴油发电机排气口受海啸影响严重受损，导致 1 号机组汽轮机厂房大量进水，厂房内的通风系统风道以及柴油发电机气道受损，水流沿着这些开口进入地下一层的应急供电配电盘导致其损坏并发生爆炸起火现象，水流进入地下二层的应急柴油发电机厂房导致 1 号机组的 3 台应急柴油发电机损坏。所以总体来说海啸导致福岛第二核电站：除 3 号机组的一列余热排出系统外，其他余热排出系统均失效；除 3 号机组的两台应急柴油发电机和 4 号机组的一台应急柴油发电机外，其他应急柴油发电机均失效。海啸没有导致尚存的一路厂外电失效（据说是由于其供电塔相对牢固且位置较高），所以仅存的 3 台应急柴油发电机都处于备用状态。

东海第二核电站核岛厂房和汽轮机厂房地坪标高 8m，海水泵（露天放置）所处位置地坪标高 4m。在 2002 年日本调整了防海啸标准后，在海水泵外围建造了一条高 5m 的挡水墙，此后根据经验反馈，于 2010 年在原有的挡水墙外围，又建造了一条高 6.1m 的围墙，以保证海水冷却系统的安全。311 地震后，东海第二核电站区域海啸爬高 5.0~5.4m，低于设防水位 6.1m。但由于一个海水泵区域（6.1m 围墙以内，5m 挡水墙外）正在施工铺设电缆，海水倒灌漫过 5.0m 挡水墙导致相应隔间的应急柴油发电机海水冷却泵水淹损坏，相应的应急柴油发电机失效并导致由其供电的一列余热排出系统失效（对应的余热排出海水冷却系统 RHR-S 泵电机尚未被淹）。海啸对东海第二核电站影响较小。

女川核电站核岛厂房和汽轮机厂房地坪标高 14.8m，高于海啸高度，因此未受到海啸的影响。



图 3-6 海啸前后的福岛第一核电站

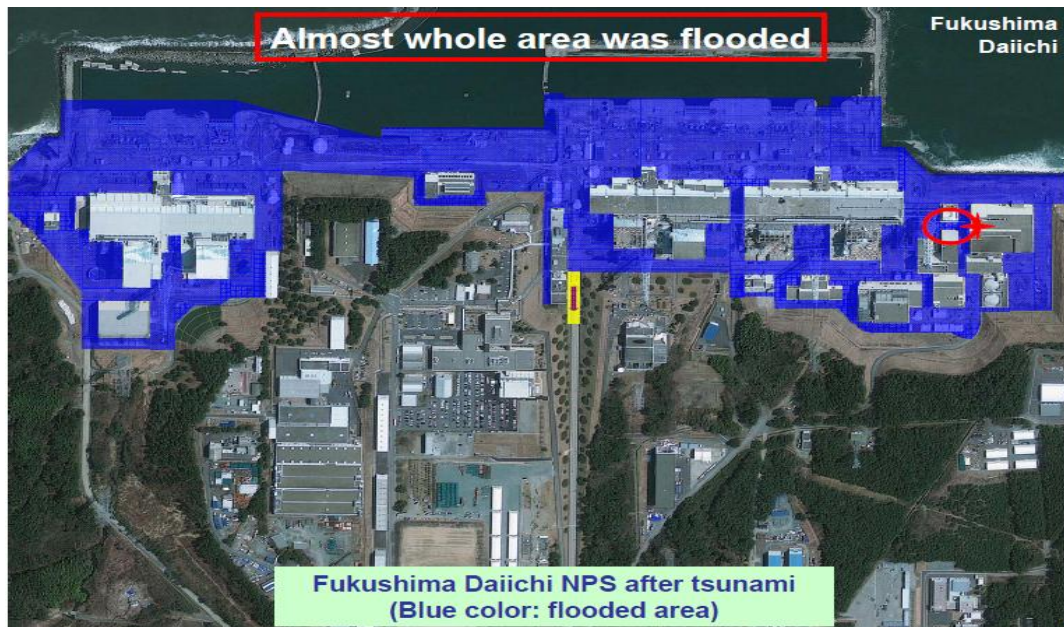


图 3-7 福岛第一核电站水淹区域



图 3-8 海啸来袭和退去的福岛第一核电站



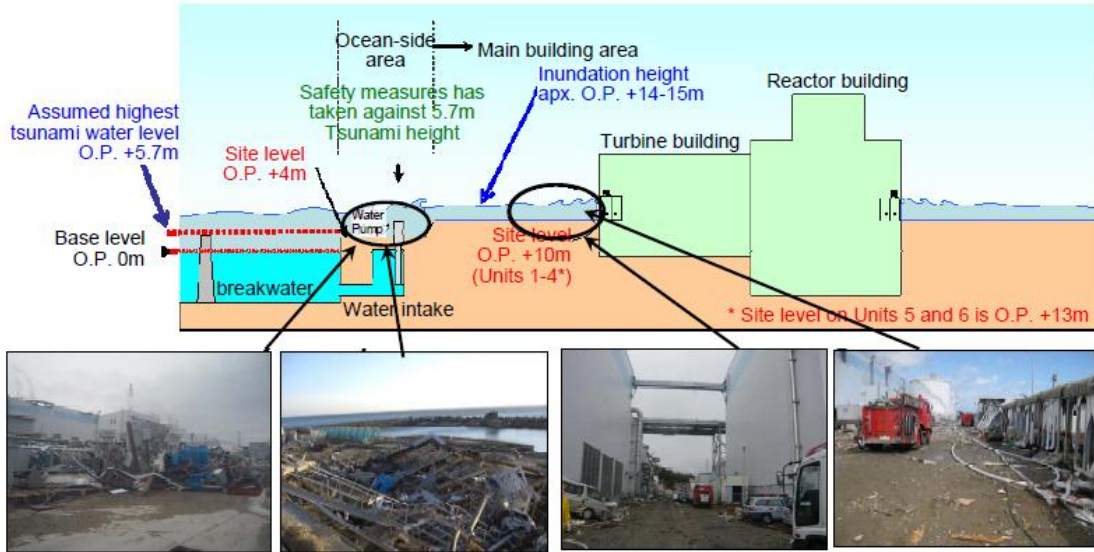


图 3-9 海啸袭击后的福岛第一核电站

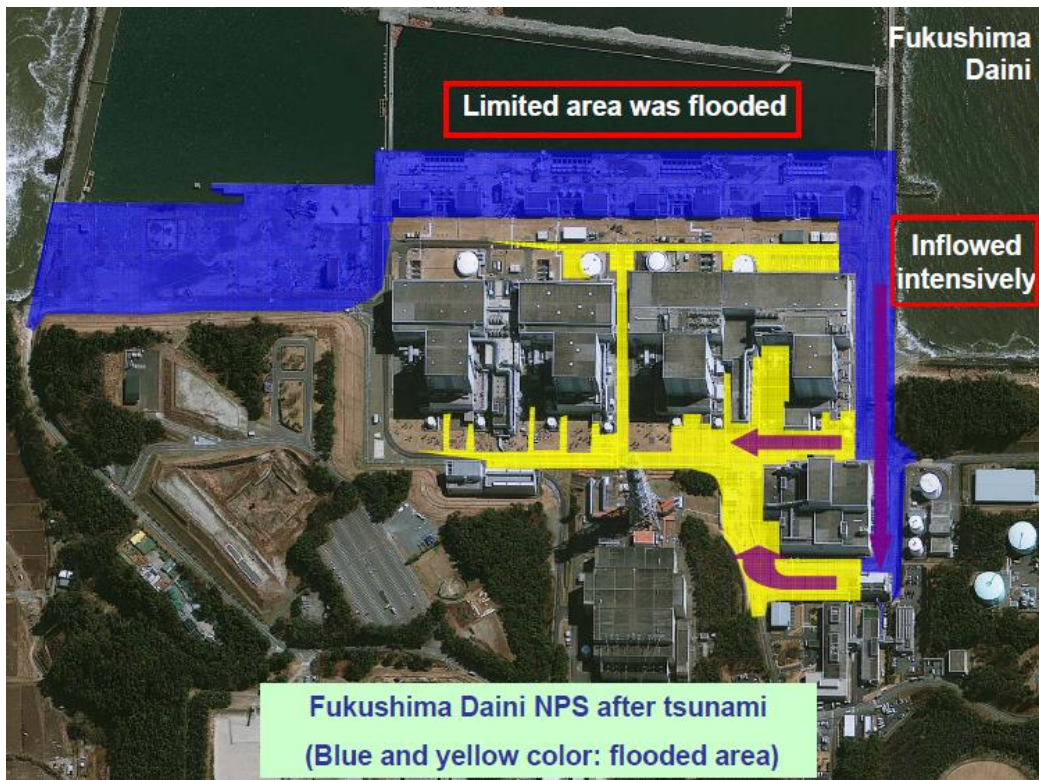


图 3-10 福岛第二核电站水淹区域



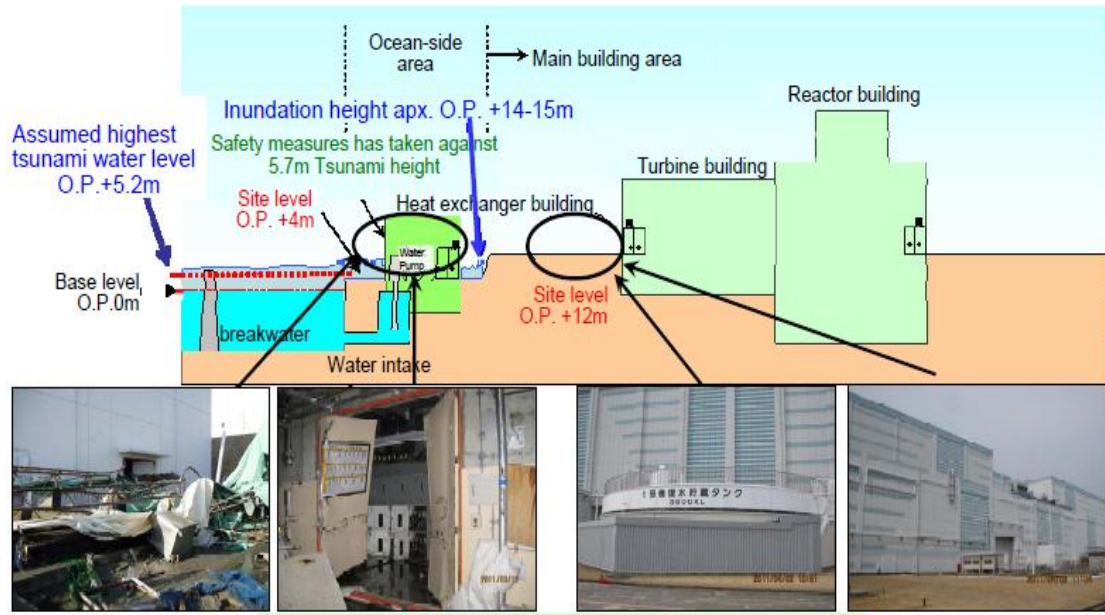


图 3-11 海啸袭击后的福岛第二核电站





图 3-12 海啸对福岛第二核电站造成的破坏

另外，海啸造成了大量残毁物，阻挡了道路，影响了事故的处理工作。

### 福岛核电站重要事故序列

#### 1) 福岛第一核电站

##### 1 号机组：

311 地震后，福岛第一核电厂 1 号机组的主要事故序列及主要参数变化曲线。

1 号机组的事件序列	
3 月 11 日	
14:46	发生地震，失去厂外交流电源，反应堆自动停堆，直流和应急交流供电可用。
14:52	隔离冷凝器（IC）运行以冷却反应堆。 在 1 号机组中，隔离冷凝器（IC）利用重力作用，使冷却剂自然循环，从反应堆压力容器流入浸泡在大型水箱内的热交换器，该水箱池位于反应堆厂房内并高于堆芯位置。为此需要操控数个阀以便使隔离冷凝器发挥作用。

	这些阀有的是交流供电，有的是直流供电。1号机组的隔离冷凝器的设计能力是保证8小时的衰变热排出。
15:03	IC停止运行。隔离冷凝器在工作了11分钟之后，为避免堆芯过度冷却根据运行规程操纵员停止。
15:37	海啸来袭，全部交流电源丧失——全厂断电
15:37	失去往反应堆注水的能力
~17:00	水位下降到燃料组件顶部以下
--:--	部分堆芯损坏（海啸发生若干小时后）
18:18	由于直流供电丧失时IC隔离阀处于关闭位置，导致隔离冷凝器失效。操纵员试图在主控制手动打开IC隔离阀，但从目前调查结果看没有成功。
<b>3月12日</b>	
05:46	开始从消防管线注入淡水，在之后的9小时总共向堆芯注入了80吨水，直到供水用尽。压力容器通过尚未确认的路径向安全壳排出蒸汽，导致安全壳压力上升，操纵员尝试打开用于安全壳排气降压的阀门。排气需要仪控设备和交流供电。反应堆厂房内的高辐射水平影响了这方面工作。
14:30	主安全壳排气。经过几次排气尝试之后，从3月12日早晨开始，操纵员开始尝试手动打开阀门。在3月12日下午，使用了一台建筑用的压空机和一台发电机以向电磁阀供电。在3月12日14:30，操作员发现排气烟囱冒出了白色烟羽，证明排气有效。
15:36	爆炸导致反应堆厂房严重损坏（外层安全壳）
20:20	建立了注入海水的手段（间歇加入硼确保堆芯达到次临界）。
<b>3月23日</b>	
02:33	除消防管线外，利用给水管线增加向反应堆堆芯的注水量



09:00	切换到仅使用给水管线向反应堆堆芯注水
3月25日	开始注入清水。通过水泵从新近购买的水池中汲水并注入到给水管线中。淡水的来源主要是电站与10公里外的一个大坝之间的连接管线。
4月7日	确认开始向安全壳注入氮气
6月27日	开始使用废液处理装置把泄漏出来的水处理后再注入堆芯。反应堆压力容器（PRV）底部温度低于100度，在过去的几个月没有上升的趋势，表明通过循环水注入冷却系统可以保证充分的冷却。

1号机组乏燃料水池	
3月11日	由于地震和海啸，乏燃料池的冷却和补水功能丧失
3月31日?	通过水泥罐车向乏燃料池喷水（淡水）
5月29日	通过燃料池冷却管线向乏燃料池注入淡水
8月10日	乏燃料池替代冷却系统开始运行，水池温度稳定在大约30度

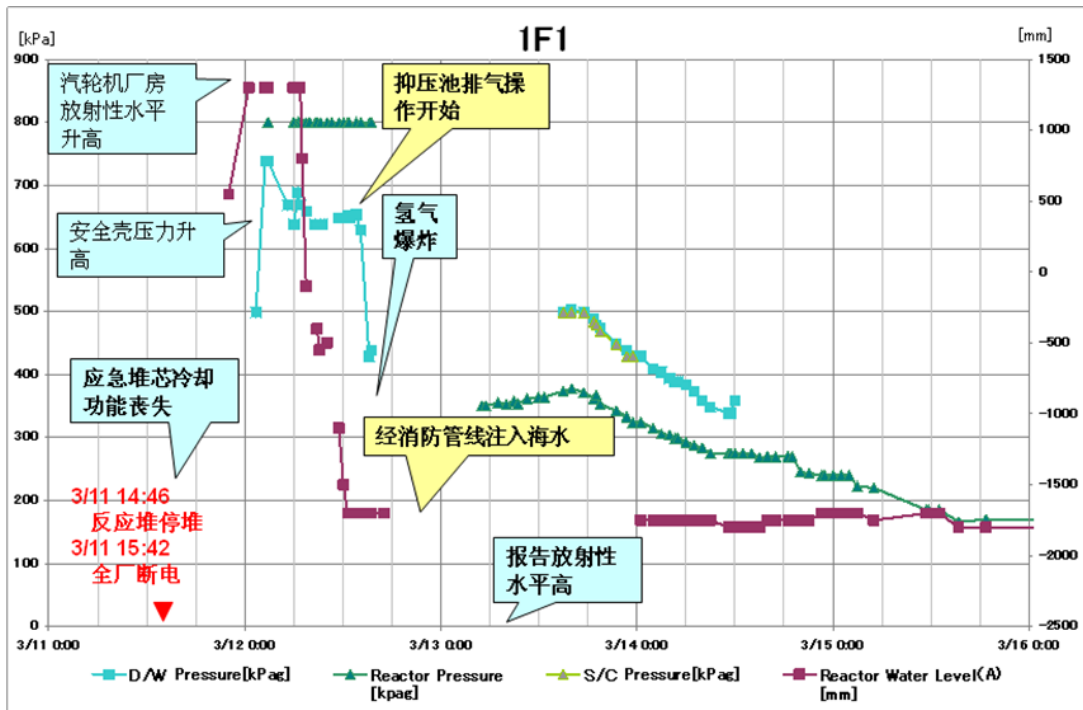


图 3-13 截止 3 月 15 的 1 号机组主要参数变化曲线

需要注意的是，虽然图 3-13 给出的是 1 号机组的测量数据，但由于不能确认测量仪表在此类严重事故工况下的可用性，这些测量数据是否正确有效值得关注，特别是堆芯水位曲线，事故后一直维持相对稳定，后续分析认为其可能给出的是错误的信息。

福岛核事故后，东京电力公司用严重事故分析程序 MELCOR 对福岛第一核电站 1 号机组事故过程进行了模拟分析，分析假设如下：

- 海啸袭击之前隔离冷却系统（IC）立即投入运行，IC 停运后不考虑 IC 进一步的运行；
- 根据记录不考虑高压冷却剂注入系统（HPCI）运行；
- 安全壳（PCV）泄漏面积(假设)分别为 18 小时  $7\text{ cm}^2$ ，50 小时  $35\text{ cm}^2$ ；
- 根据记录确定通过消防管线注入的水量，但是随着 RPV 压力水量是变化的。

针对福岛第一核电站 1 号机组，MELCOR 程序的分析结果见图 3.14。

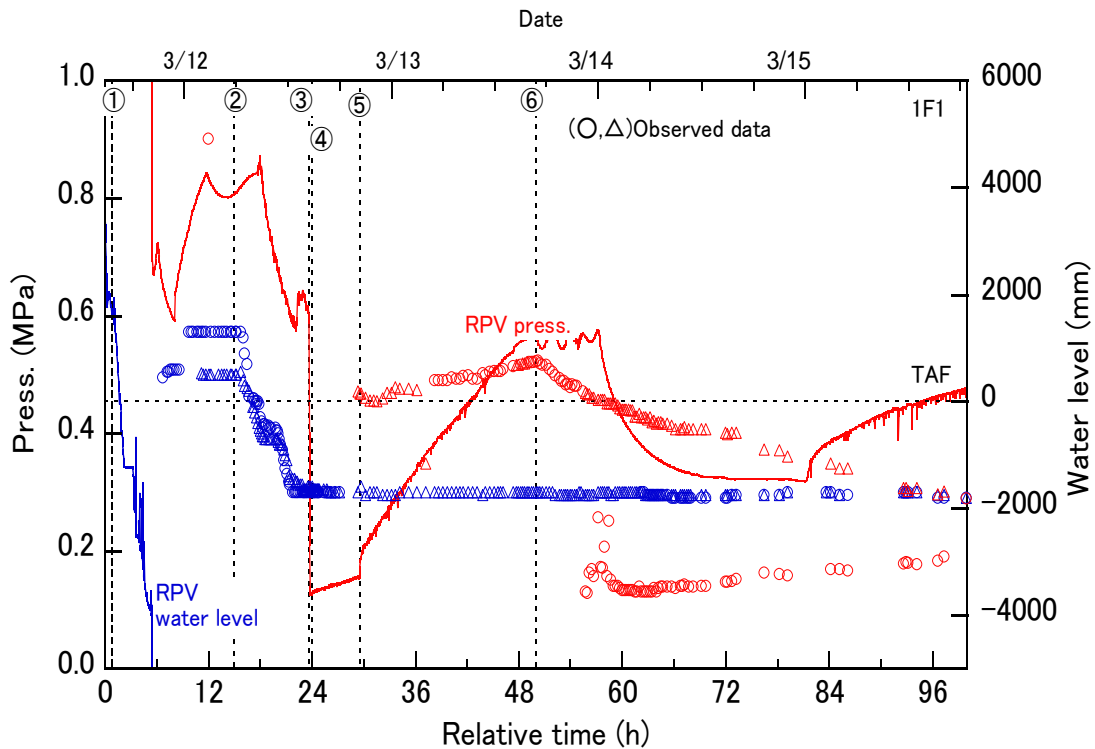


图 3-14 MELCOR 计算的反应堆压力和水位曲线

注：①隔离冷却系统（IC）停止，②安全壳（PCV）失效（假定），③湿阱（W/W）排气（开），④湿阱（W/W）排气（关），⑤海水注入，⑥PCV 失效（假定）

2 号机组：

311 地震后，福岛第一核电站 2 号机组的主要事故序列及主要参数变化曲线图。

2 号机组的事件序列	
3 月 11 日	
14:47	发生地震，失去厂外交流电源，反应堆自动停堆
~14:50	<p>反应堆隔离冷却系统（RCIC）手动操作，向反应堆内注水。</p> <p>2 号机组的反应堆堆芯隔离冷却（RCIC）系统使用由汽轮机驱动的泵来将反应堆压力容器中的热量排出，汽轮机乏汽排入抑压水池。只有在反应堆压力容器中的蒸汽压力高于一定压力值时反应堆堆芯隔离冷却系统才可启动。要启动反应堆堆芯隔离冷却就必须重新配置阀门状态。其中有些阀门使用直流电源，有些阀门使用交流电源。</p> <p>RCIC 在出现反应堆压力容器水位高信号的情况下自动跳闸。</p> <p>在海啸发生前，2 号机组的 RCIC 启停了两次。</p>
15:41	海啸来袭，丧失全部交流电源——全厂断电
3 月 13 日	
--:--	RCIC 仍在运行以冷却反应堆
~11:00	安全壳排气
3 月 14 日	
13:25	RCIC 停止工作。反应堆堆芯隔离冷却系统（RCIC）按照设计一直运行了 3 天。
~18:00	水位下降到燃料顶部以下
--:--	部分堆芯损坏（大概在发生海啸的 3 天后）
19:54	开始使用消防泵向反应堆注入海水。在 3 月 14-26 日期间，通过消防设备和连接在余热排出以及低压冷却剂注入管线上的凝结水补给管线共注入 9197 吨海水。
--:--	反应堆厂房的一侧墙面出现裂缝
3 月 15 日	
~06:00	抑压水池压力降低，主安全壳可能损坏
3 月 26 日	开始向堆芯注入淡水



6月27日	
16:20	除了使用过滤水箱的水以外，开始使用废液处理设施把泄漏出来的水处理后再注入堆芯。
6月28日	
20:08	开始将氮气注入安全壳（PCV）
9月14日	开始堆芯喷淋水注入。反应堆压力容器（PRV）底部温度低于130度，在过去的几个月没有上升的趋势，表明通过循环水注入冷却系统可以保证充分的冷却。

2号机组乏燃料水池	
3月11日	由于地震和海啸，乏燃料池的冷却和补水功能丧失
3月20日	通过 FPC 向 SFP 注水（使用消防水泵）
3月29日	通过 FPC 向 SFP 内注入淡水（使用临时电机驱动泵）
5月31日	
17:21	乏燃料水池替代冷却系统开始满负荷运行，目前水池温度稳定在大约30度

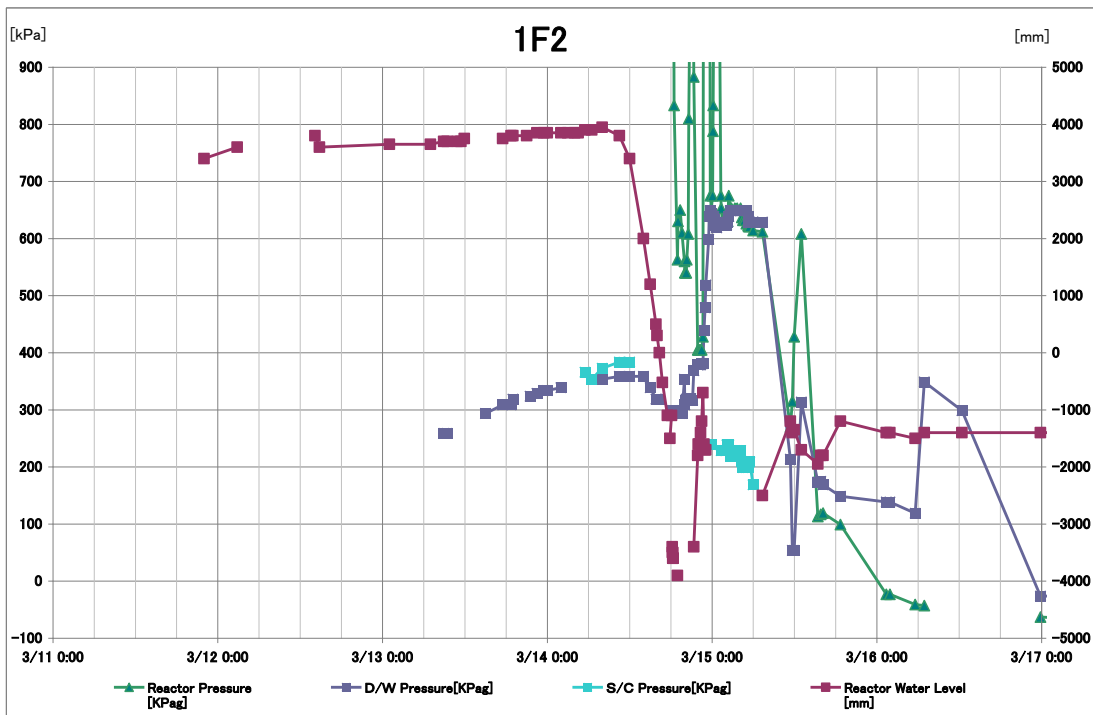


图 3-15 截至 3 月 17 日 2 号机组主要参数变化曲线

需要注意的是，虽然图 3-15 给出的是 2 号机组的测量数据，但由于不能确认测量仪表在此类严重事故工况下的可用性，这些测量数据是否正确有效值得关注，特别是堆芯水位曲线，事故后一直维持相对稳定，后续分析认为其可能给出的是错误的信息。

福岛核事故后，东京电力公司用严重事故分析程序 MELCOR 对福岛第一核电站 2 号机组事故过程进行了模拟分析，分析假设如下：

- 3 月 14 日 13:25 之前，堆芯隔离冷却系统（RCIC）运转；
- 3 月 12 日 4:20 ， RCIC 水源由冷凝水储存箱（CST）切换至抑压水池（S/P）；
- 假设 21 小时从干阱的气相有 50cm<sup>2</sup> 的泄漏；
- 假设抑压水池（S/C）的气相有 300cm<sup>2</sup> 的泄漏；
- 根据记录确定通过消防管线注入的水量，但是随着 RPV 压力水量是变化的。

针对福岛第一核电站 2 号机组，MELCOR 程序的分析结果见图 3-16。

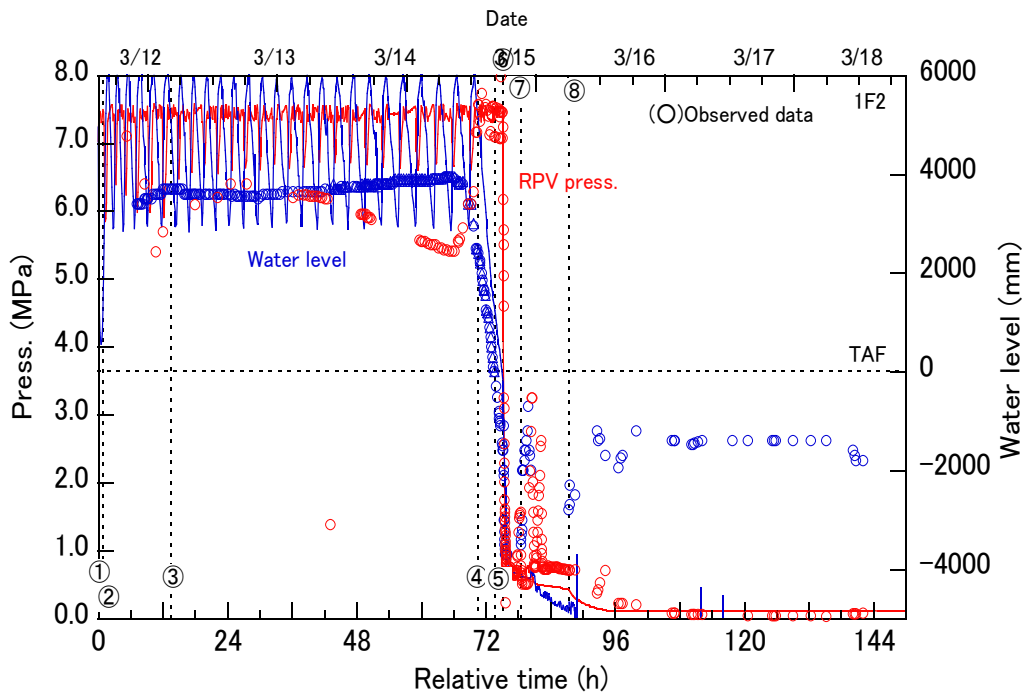


图 3-16 MELCOR 计算的反应堆压力和水位曲线

注：①RCIC 手动起动，②SBO，③水源由 CST 切换至 S/P，④RCIC 停止，⑤海水注入，⑥ RPV 降压，⑦S/R 阀门-2 打开，⑧安全壳压力下降

3 号机组：

311 地震后，福岛第一核电站 3 号机组的主要事故序列及主要参数变化曲线图。

3 号机组的事件序列	
3 月 11 日	
14:47	发生地震，失去厂外交流电源，电厂停机
~15:05	RCIC 手动操作，向反应堆内注水
15:41	海啸来袭，丧失全部交流电源——全厂断电
3 月 12 日	
11:36	RCIC 停止运行
12:35	HPCI 自动运行，往反应堆注水
3 月 13 日	
02:42	HPCI 停止运行
~08:00	水位下降到燃料顶部以下
--:--	部分堆芯损坏（大概在发生海啸的 2 天后）
09:25	开始使用消防管线往堆内注入含硼水
13:12	开始向堆芯注入海水
3 月 14 日	
05:20	给主安全壳排气
11:01	爆炸引起反应堆厂房严重损坏（外层安全壳），向堆芯的海水注入中断。
16:30	使用消防车恢复注入海水
3 月 25 日	
18:02	开始向堆芯注入淡水
3 月 28 日	
20:30	使用临时电动泵向堆芯注水
5 月 12 日	
16:53	除了使用消防管线以外，开始从供水管线注水淹没堆芯
6 月 27 日	
16:20	除使用来自过滤水箱的水外，开始使用废液处理设备把泄漏出来的经处理后再注入反应堆。



7月14日	开始将氮气注入安全壳（PCV）
9月1日	开始堆芯喷淋水注入。反应堆压力容器（PRV）底部温度低于120度，在过去的几个月没有上升的趋势，表明通过循环水注入冷却系统可以保证充分的冷却。

3号机组乏燃料水池	
3月11日	由于地震和海啸，乏燃料池的冷却和补水功能丧失
3月17日	自卫队直升机进行喷洒水作业
3月17日	使用高压水炮车、消防车从地面喷水
3月27日	通过水泥泵车注水
4月26日	通过燃料水池冷却和净化系统管线向乏燃料水池注水
6月30日	乏燃料水池替代冷却系统开始运行，水池温度稳定在大约30度

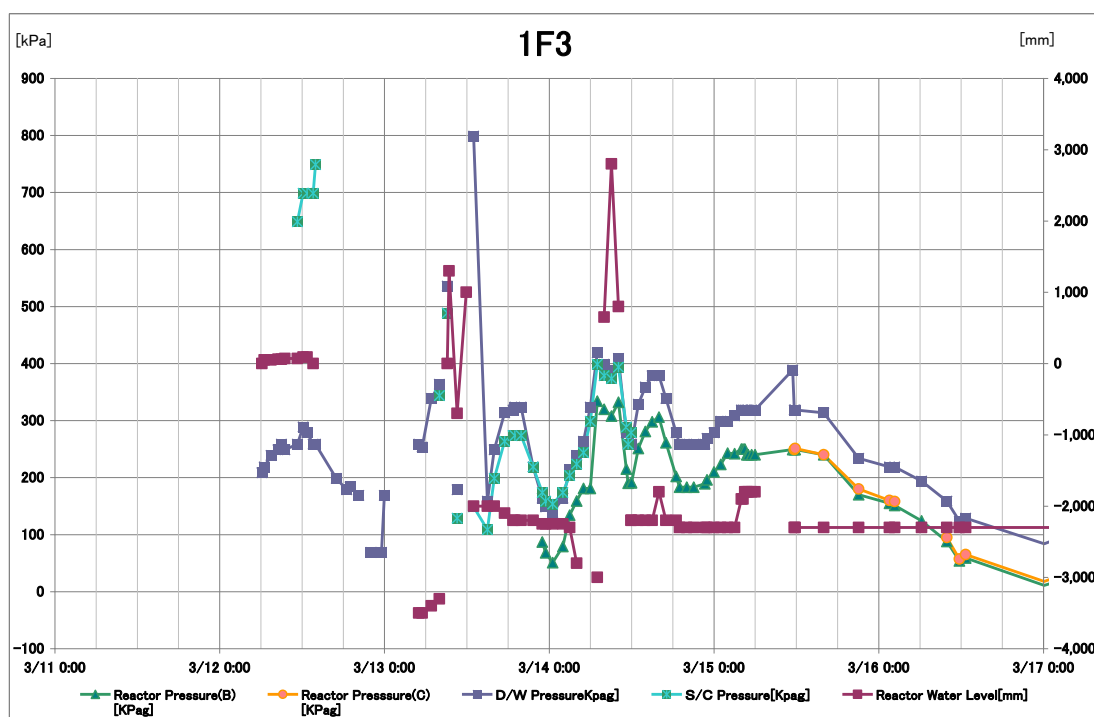


图 3-17 截至 3 月 17 日 3 号机组主要参数变化曲线

需要注意的是，虽然图 3-17 给出的是 3 号机组的测量数据，但由于不能确认测量仪表在此类严重事故工况下的可用性，这些测量数据是否正确有效值得关注，特别是堆芯水位曲

线，事故后一直维持相对稳定，后续分析认为其可能给出的是错误的信息。

福岛核事故后，东京电力公司用严重事故分析程序 MELCOR 对福岛第一核电站 3 号机组事故过程进行了模拟分析，分析假设如下：

- 3 月 12 日 11:36 之前 RCIC 运转；
- 3 月 12 日 12:35 至 3 月 13 日 2:42 HPCI 运转；
- RCIC 和 HPCI 的水源是 CST；
- 3 月 13 日 9:20 确认 RPV 降压；
- 安全壳排气管线分别打开和关闭；
- 假定注水速率能够维持稍稍低于燃料高度范围的水位。

针对福岛第一核电站 3 号机组，MELCOR 程序的分析结果见图 3-18。

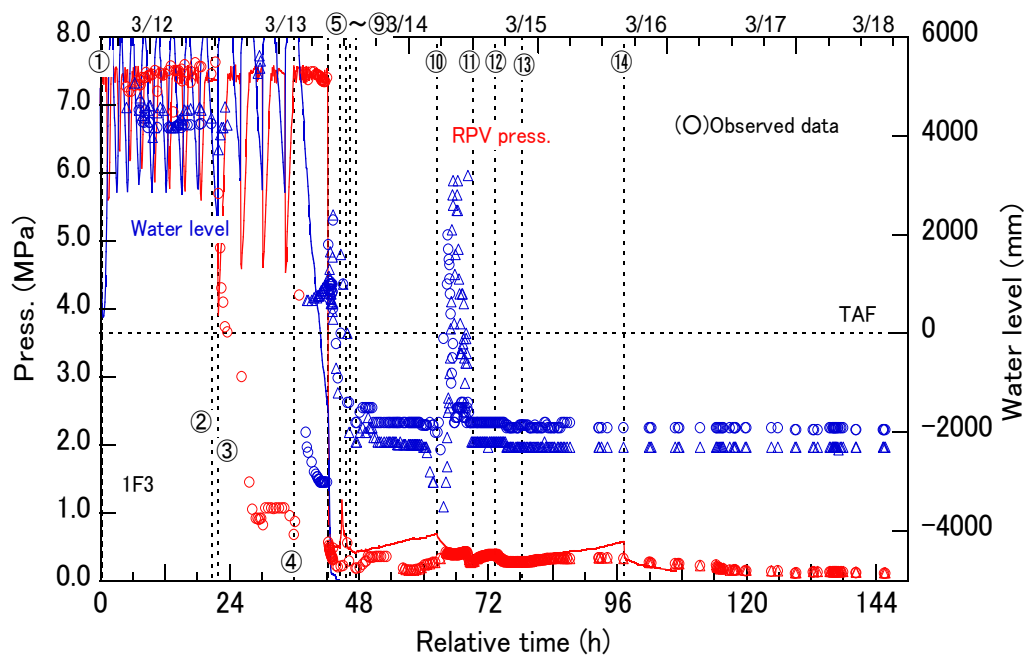


图 3-18 MELCOR 计算的反应堆压力和水位曲线

注：①RCIC 手动起动，②RCIC 停止，③HPCI 开始，④HPCI 停止，⑤S/RV(打开)，⑥PCV 排气(打开)，⑦注水，⑧PCV 排气 (关闭)，⑨海水注入，⑩~⑭PCV 排气 (打开⇌关闭交替进行)

#### 4 号机组：

311 地震发生时，4 号机组正处于换料停堆检修状态，所有燃料都存放在乏燃料池内，

而在压力容器内没有燃料组件。

4号机组的事件序列（换料停堆检修状态，所有燃料都存在乏燃料池内）	
3月11日	
14:46	发生地震，失去厂外交流电源
15:38	海啸来袭，丧失所有交流电源——全厂断电，乏燃料池的冷却和补水功能丧失
3月14日	
~06:00	反应堆厂房爆炸，导致操作大厅顶部上方墙体、西侧墙体以及沿楼梯墙体毁坏。
3月20日	
--:--	开始向乏燃料水池上方喷水。
6月16日	使用临时燃料池注水设施注水
7月30日	完成在乏燃料水池底部支持结构的安装，抗震方面得到加强
7月31日	乏燃料水池替代冷却系统开始运行，水池温度稳定在大约40度

#### 5号机组：

311地震后，福岛第一核电站5号机组的主要事故序列。

5号机组的事件序列（由于例行维护，该机组处于停机状态）	
3月11日	
14:46	发生地震，失去厂外交流电源
15:41	海啸来袭，丧失所有交流电源——全厂断电
3月12日	使用6号机组的应急柴油发电机成功为5号机组提供交流电
3月20日	
~14:30	5号机组冷停堆

#### 6号机组：

311 地震后，福岛第一核电厂 5 号机组的主要事故序列。

6 号机组的事件序列（由于例行维护，该机组处于停机状态）	
3 月 11 日	
14:46	发生地震，失去厂外交流电源
15:41	海啸来袭，只有 6 号机组有一台可用的风冷应急柴油发电机
3 月 20 日	
19:27	6 号机组冷停堆

## 2) 福岛第二核电站

地震发生时，电站 4 台机组处于运行状态。为应对地震，4 台机组全部自动紧急停堆。只有一路厂外电源可用，其他厂外电源或者丧失或者处于计划维修阶段。地震发生后 37 分钟，第一波海啸浪潮淹没了电站。两次后续袭来的海啸浪潮在随后的几小时进一步加重了电站的被淹和受损状态，后续的几次余震也影响了紧急抢险救灾行动。地震的最大加速度小于电站的设计基准。但是海啸高度（14 米）超出了电站参考海啸高度标准，但由于福岛第二核电厂厂房的地坪标高为 12 米，因此，水淹程度和范围低于福岛第一核电站。

海啸浪潮侵袭了热交换器厂房、海水泵、一些应急柴油发电机和配电中心，导致四个机组中的三个反应堆堆芯冷却功能和抑压功能丧失。3 号机组受影响最小，在地震后第二天实现冷停堆。

因为受到的损害小于福岛第一核电站，福岛第二核电站的管理人员有更多方式来应对海啸的影响。电站操作员能够继续利用汽动泵和柴油泵向反应堆堆芯补水，并手动为反应堆卸压。电站主管请求移动供电卡车支援，并动员电站所有人员铺设了 9 公里的临时供电线。此外还为被水淹的泵购买了一些替代电机。这使得正常的余热排出系统能够在海啸发生后 2-4 天内恢复到工作状态，使机组实现冷停堆。

在事故过程中，福岛第二核电站 4 台核电机组的瞬态过程基本相似。311 地震后反应堆自动停堆，反应堆隔离冷却系统投运维持堆芯水位；通过人为控制打开卸压阀降低反应堆冷却剂系统压力；当反应堆冷却剂系统压力降到一定限值时，反应堆隔离冷却系统停运，反应堆高压喷淋系统投运用于维持反应堆水位。3 号机组由于其尚有一列余热排出系统可用，于 3 月 12 日首先达到了冷停堆状态。1、2、4 号机组由于丧失了余热排出功能，虽然可以把堆芯热量排到安全壳抑压水池，但安全壳内的热量不能有效排出，曾因抑压水池温度超过



100℃而宣布采取厂外应急行动。此后，1、2号机组在分别修复并投运一系列余热排出系统后，于3月14日达到了冷停堆状态。4号机组在修复并投运一系列余热排出系统后，于3月15日达到了冷停堆状态。截止5月23日，福岛第二核电站已修复了DG-2H，DG-2B，DG-4B，再加上未损坏的DG-3B、DG-3H、DG-4H，共有6台应急柴油发电机可用，电厂通过铺设临时电缆，保证每台机组都有两台应急柴油发电机备用，以确保供电安全。

### 3) 东海第二核电站

地震发生时，电站机组处于运行状态。为应对地震，机组自动紧急停堆。三个厂外电源全部丧失，三台应急柴油发电机自动启动。地震发生后34分钟，海啸袭击了电站低处。地震的最大加速度小于电站的设计基准。海啸高度是5.4米，而电站参考海啸高度标准是6.1米。海啸袭击了一个装有海水泵的区域，导致相应的海水冷却系列功能丧失，进而导致一台应急柴油发电机失效和一系列堆芯冷却系统丧失。其他装有海水泵的区域已经过围墙升级，完全不透水；而被淹没的区域当时正在围墙升级过程中。

海啸导致一台应急柴油发电机的海水冷却泵水淹损坏，相应的应急柴油发电机失效并导致由其供电的一系列余热排出系统失效（对应的余热排出海水冷却系统RHR-S泵电机尚未被淹）之后，其他两列应急柴油发电机继续向安全系统供电。在3月12日13:11反应堆隔离冷却系统由于反应堆压力低停运后，反应堆高压喷淋系统投运用于维持反应堆水位。3月13日12:32一路外电源恢复，3月14日23:43原先不能运行的余热排出系列投入运行，用于冷却反应堆；3月15日达到冷停堆状态；3月16日海水泵电机运到现场；3月18日又有一路外电恢复；3月22日受淹的柴油发电机海水冷却泵修复，确认相应的柴油发电机工作正常，电厂退出应急状态。

### 4) 女川核电站

在3月11日的地震之前，东北电力公司女川核电站（BWR，3个机组）的1号和3号机组正在运行，2号机组正在进行启堆操作。3个反应堆都因地震而紧急停堆。1号机组的涡轮房地下一层在11日发生火灾，但没有对外部造成放射性污染。5条外部供电线路中有4路因为地震而无法使用，只有1条保持可用。1号机组丧失厂外电，靠应急柴油发电机供电。堆芯隔离冷却等系统开始向反应堆内注水。到3月12日0时57分，反应堆达到冷停堆状态。2号机组的外部电源得到维持，反应堆冷却功能未受影响。3号机组的外部电源虽然得到维持，但辅助设备冷却海水泵停止运行。之后，冷却水通过RCIC等系统注入反应堆。到3月12日1时17分，反应堆达到冷停堆状态。4月10日，5组外部电源线全部可以使用。检查

点的数据显示没有异常发生。在地震引发的停堆之后，乏燃料池冷却系统已经恢复。目前，所有机组均处于冷停堆状态。

## 5) 东通核电站

东北电力公司东通核电站因定期检查已经停堆，堆芯所有燃料已转运至乏燃料水池。所有三条外部电力供应线由于地震中断，电力由应急柴油发电机供应。

## ■ 日本采取的事故处理措施

2011年3月30日，经济产业省原子力安全保安院鉴于福岛第一、第二核电站事故对其它核电站的影响要求实施紧急安全对策。主要目的是分析本次海啸的产生机理、掌握并解析事故全貌、从本质上提出对策。其中对除福岛第一、第二以外的核电厂，提出实现“利用现有条件，尽可能避免放射性物质的释放以及恢复冷却功能”的要求。各核电厂要按照紧急安全对策采取适当的措施，经原子力安全·保安院检查确认，以防止核电灾害的发生。并且，原子力安全·保安院将通过检查以继续确认紧急安全对策的实施情况，并对核电厂提出必要的改进建议，以提高紧急安全对策的可靠性。

鉴于福岛第一核电站事故的直接原因，是地震引起巨大海啸所致的：

- (1) 丧失厂外电源后，应急电源应急启动后受水淹导致故障；
- (2) 反应堆停堆后，将堆芯余热排至最终热阱（大海）的海水冷却系统丧失或其功能丧失；
- (3) 乏燃料水池的冷却水及常规供水停止时，无法提供备用（可移动）冷却水源。

由于以上原因导致事故扩大、酿成核电灾难。由此，要求所有核电厂立即实施：

### (1) 实施紧急检查

对在应对海啸引发的紧急状况时使用的系统、设备等实施紧急检查；

### (2) 实施应急计划的检查和训练

丧失全部交流电、丧失海水冷却功能以及丧失乏燃料水池冷却功能时的应急计划的检查和训练；

### (3) 保证紧急状态下的电源

丧失厂外电源又无法保证应急电源时，用后备（可移动）电源作为替代电源提供必要的电力以确保供电；

### (4) 确保紧急状态下的最终冷却功能

海水冷却系统丧失或其功能丧失时，准备恢复后备（可移动）冷却；

(5) 确保紧急状态下乏燃料水池的冷却

乏燃料水池的冷却水及常规供水停止时，启用备用（可移动）冷却水源；

(6) 视各核电厂的系统配置等情况，实施当前所需的对策

要求所有核电厂依照上述紧急安全对策立即采取相应措施。要求尽早向原子力安全·保安院提交上述紧急安全对策的实施情况（包括今后的实施方案）。

保安院在接收包含紧急安全对策的安全规定的认可申请后，将对其是否妥当进行严格的确认和认可，对各核电厂的紧急安全对策的实施情况进行检查和严格的确认。原子力安全保安院对紧急安全对策的实施情况的确认，计划在核电厂提出紧急安全对策后的约一个月内（4月）完成。

## 福岛核事故的处理情况

### （一）事故恢复路线图

针对福岛事故，日本政府和东京电力公司共同制定了中长期行动计划，东京电力公司于4月17日宣布“事故恢复路线图”。

#### 1、基本方针

通过使反应堆和乏燃料池进入到一个稳定的冷却状态，减少放射性物质的释放，尽力使被疏散者返回家园，并确保让所有公民能过上健康的生活。

#### 2、目标

根据基本方针，将目标分为以下两步：

第一步：放射性剂量水平稳步下降。（2011年7月19日，政府-东电核应急联合响应指挥部宣布已经实现）

第二步：放射性物质的释放可控并且放射性剂量水平显著降低。（2011年12月16日已实现）

尽管有各种不确定性和风险，目标的完成期限：

第一步：约3个月

第二步：约3到6个月（第一步完成后）

为达到上述目标，将行动分为5个区域（“Ⅰ冷却”、“Ⅱ缓解”、“Ⅲ监测和去污”、“Ⅳ余震应对措施”、“Ⅴ改善环境”）和8个问题（“冷却反应堆”、“冷却乏燃料池”、“放射性污水（积水）的容纳、贮存、处理和再利用”、“放射性物质向大气释放的缓解”、“在撤离指

令中/计划的撤离中/应急撤离准备区中的辐射剂量的测量、降低和公布”、“地下水”、“海啸、救援等”和“生活/工作环境”）。

问题		第一步 (上面是目标,下面是措施)	第二步 (上面是目标,下面是措施)
I 冷却	(1) 反应堆	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇维持冷却状态</li> <li>• 开始循环水冷却</li> <li>• 开始向 PCV 内注入氮气</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇维持冷停堆状态</li> <li>• 一般而言, RPV 底部和 PCV 内温度低于 100℃</li> <li>• PCV 释放的放射性物质可控, 通过其他途径向公众的外照射显著降低</li> <li>• 保证循环水冷却系统的中期安全</li> </ul>
	(2) 乏燃料水池	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇维持冷却状态</li> <li>• 改善注入运行的可靠性</li> <li>• 通过安装热交换器, 2、3 号机组开始循环冷却</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇进一步稳定的冷却</li> <li>• 通过安装热交换器, 1、4 号机组开始循环冷却</li> </ul>
II 缓解	(3) 积水	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇可靠的贮存场所</li> <li>• 安装贮存/处理设施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇减少放射性积水的总量</li> <li>• 积水水位已经降低到能够承受大雨和长期处理设施断电的水平。</li> </ul>
	(4) 地下水	◇缓解污染海域 (考虑地下水屏蔽墙等措施)	• 开始地下水屏蔽强的安装工作
		(5) 大气/土壤	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇缓解放射性物质的传播</li> <li>(喷洒去污剂)</li> </ul>
III 监测/去污	(6) 测量、缓解和公开	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇充分减少放射性剂量</li> <li>• 政府、辖区、自治市和东电公司联合监测, 扩大和加强监测与公开</li> </ul>	
IV 余震对策等	(7) 海啸、加固等	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇缓解进一步灾害</li> <li>• 在 4 号机组乏燃料池底部安装支撑结构</li> </ul>	
V 改善环境	(8) 生活 / 工作环境	◇加强环境改善	
		• 安装临时宿舍和场内休息站	
	(9) 辐射控制/医疗	<ul style="list-style-type: none"> <li>◇加强健康</li> <li>• 改善放射性控制和药物系统</li> </ul>	
(10) 员工训练/人员配置	◇全面的辐射照射剂量控制		
	• 执行系统的职员培训和人员安置		
中长期问题的措施		<ul style="list-style-type: none"> <li>• TEPCO 报告了循环水冷却系统中期计划和安全评价结论。NISA 通过评估认为循环水冷却系统的中期安全是可靠的。</li> </ul>	

表 4-1 “福岛第一核电站事故恢复路线图”

## I 冷却

### (1) 冷却反应堆



(1) 建立循环水冷却

在第一步中，从 2011 年 6 月 27 日开始，通过处理厂房和其他地方的污染积水（放射性积水）重新注入反应堆。

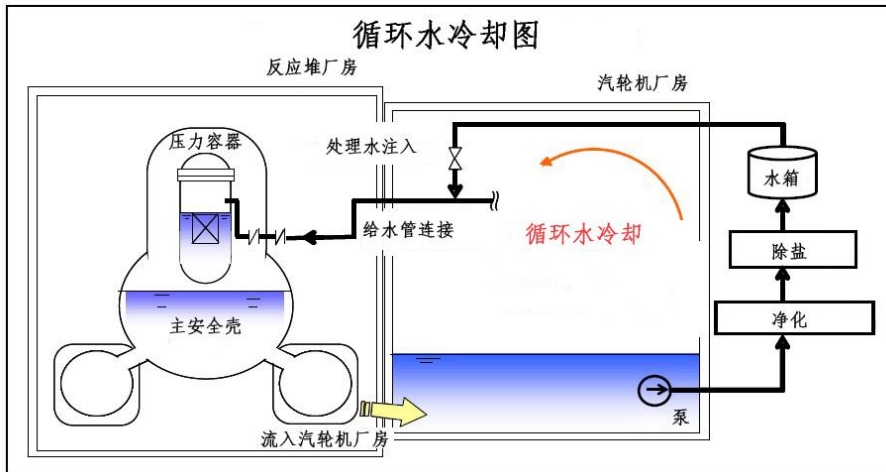


图 4-2 循环水冷却图

(2) 循环水冷却和抑制 PCV 放射性物质的释放

- 经循环水冷却，1-3 号机组 RPV 底部温度都已维持在低于 100°C 的状态；

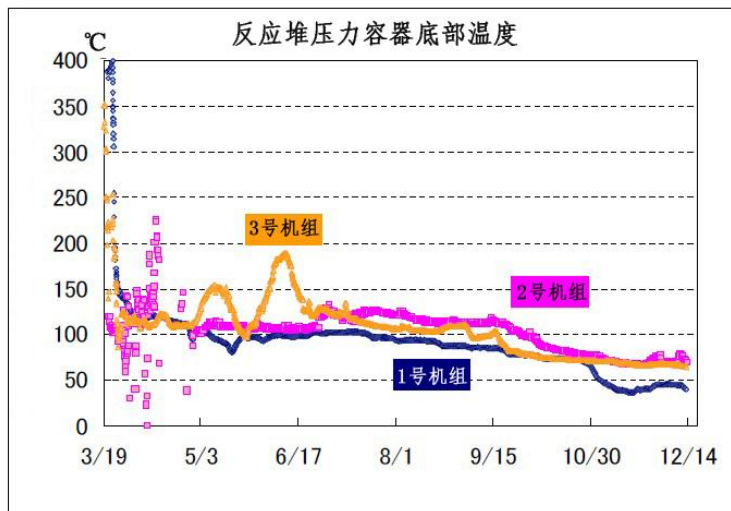


图 4-3 福岛第一核电站 1-3 号机组反应堆压力容器底部温度

- 经注水控制后，蒸汽发生器泄压，PCV 内放射性物质的释放受到控制。
- 由于不能判断破损燃料在 RPV 和 PCV 内的精确位置，为得出可能的向 PCV 的泄漏，需要确认破损燃料的冷却状态；

- 经循环水冷却，通过从 PCV 底部到顶部采取多点测量的方式，测得 1-3 号机组 PCV 内温度都已低于 100℃；

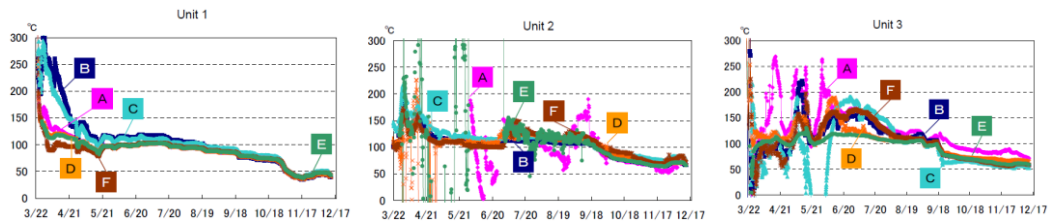


图 4-4 1-3 号机组 PCV 内的温度 (A/B/C/D/E/F 为测量点)

### (3) 确保循环水冷却系统的中期安全

#### 1) 设施的可靠性

- 部件和材料的可靠性：通过符合标准、压力测试和泄漏试验，确保部件和材料拥有必要的结构强度；
- 结构强度和抗震：分析与 RPV 连接的设施的结构强度和抗震能力，证实是安全的；
- 电力系统及电源的冗余、多样性和独立性：
  - ✓ 注水泵：在山上（海拔 35 米处）设置 3 台反应堆注入泵作为正常管线、3 台应急反应堆注入泵，同时有 3 台反应堆注入泵位于纯净水库旁待命；6 辆消防车也随时待命；
  - ✓ 水箱：处理和过滤水组成了 2 个独立的水源，与处理水缓冲罐、过滤水箱和净化水贮存箱等连接；
  - ✓ 反应堆注水管线：通过山上反应堆正常和应急注入泵的注水管线和水库旁反应堆注入泵管线；
  - ✓ 电源：多条母线能够从供电车或场内应急柴油发电机获取电源；此外，位于山上的反应堆应急注入泵和水库旁的注入泵有自己的柴油发电机，所以可以接收外部供电，也可以不接收。
- 冷却状态和异常工况的监测：

- ✓ 利用主抗震厂房监控室内的显示可监测注水流速和压力,当发现异常工况时, 监控室内的警报会触发;
  - ✓ 在任何时候, 监控室内都可监测 RPV 周围的温度;
  - ✓ 此外, 实施定期检查以追查设施故障。
- 验证必要的行动和解决时间:
    - ✓ 准备措施, 如增加电源、水源和反应堆注入管线以能够在事故发生后一小时内重新进行水注入;
    - ✓ 即使所有注水设施不可用, 可在 3 小时内通过消防车恢复注水
  - 紧急情况下的状态评估: 根据日本核应急安全委员会 (JNES) 的保守评估, 即使停止反应堆注水 12 小时, 厂址周围的照射剂量约为 0.0048-0.29mSv; 纵使 1 至 3 号机组同时注水中断时, 厂址周围的照射剂量仍然低于 1mSv/年。
- 2) 评估方法和条件
- 辐射照射剂量评估的目标核素为铯-134 和铯-137, 附着于建筑材料上部的铯由于温度升高后蒸发, 排放到环境中, 据此进行评估;
  - 进行注水中断时间评估, 如短暂现象或类似事件 1 小时, 事故或类似事件持续 7 小时和严重事故或类似事件 12 小时
  - 考虑辐射剂量评估, 除了放射性灰尘, 还考虑地面沉积的铯的照射; 评估一年的辐射照射剂量。
- 3) 评估结论
- 瞬变现象或类似事件: 厂址周边的辐照剂量足够低, 没有大量放射性物质的额外释放;
  - 事故或类似事件: 厂址周边的辐照剂量约为  $1.2 \times 10^{-3}$  mSv, 没有向邻近社区释放放射性的重大风险;
  - 严重事故或类似事件: 按照 JNES 的保守评估, 即使 1 至 3 号机组同时注水中断, 厂址周围的照射剂量仍然低于 1mSv/年。

(4) 意外风险的预防措施

- 1) 防止氢爆风险和紧急状况措施的评估
- 2) 预防临界和紧急状况措施的评估

(5) 地方

(2) 乏池

1. “进一步稳态冷却”的第二步目标

· 通过安装热交换器和维持冷却水的水位，2、3号机组在第1步结束已达到“进一步稳态冷却”状态；

· 1、4号机组已安装循环冷却水，8月10日，所有机组达到第2步的目标。

2. 工作进度

①乏池状态

· 9月19日，乏池的温度分别是：1号机 31℃、2号机 34℃、3号机 33℃、4号机 40℃。

② 4号机组除盐装置的运行（8月20日）（对策25、27）

· 为了预防乏池的侵蚀，除盐装置开始运行。（8月20日）

· 4号乏池在除盐装置运行前盐浓度为1944ppm，8月20日除盐装置开始投入运行，9月7日浓度降为770ppm。

· 计划依次安装2号和3号机组的除盐装置。



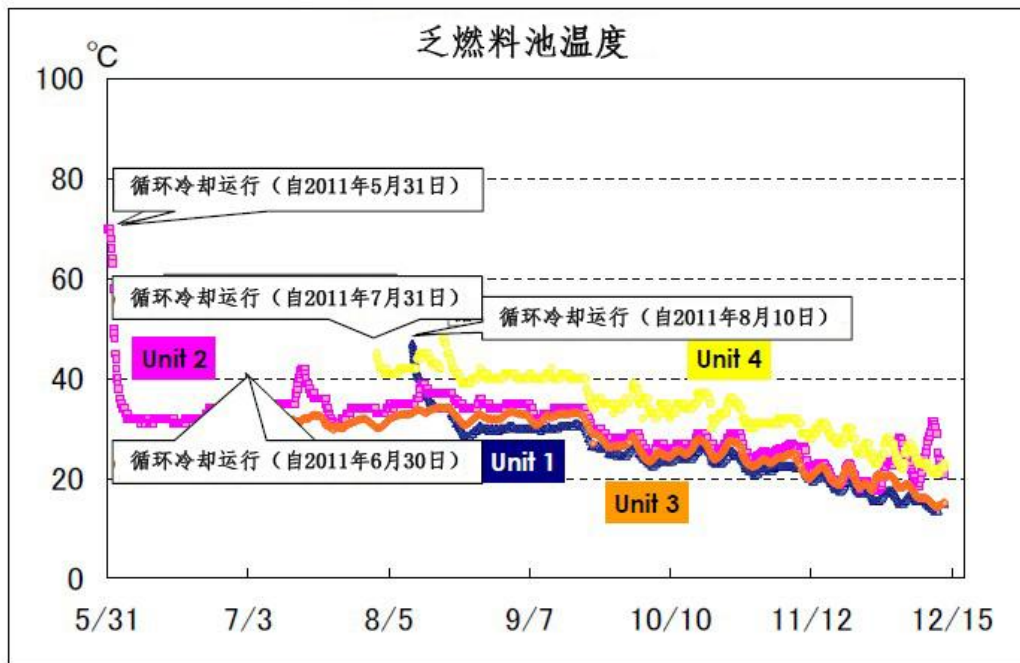


图 4-5 福岛第一核电站 1-4 号机组乏燃料池温度

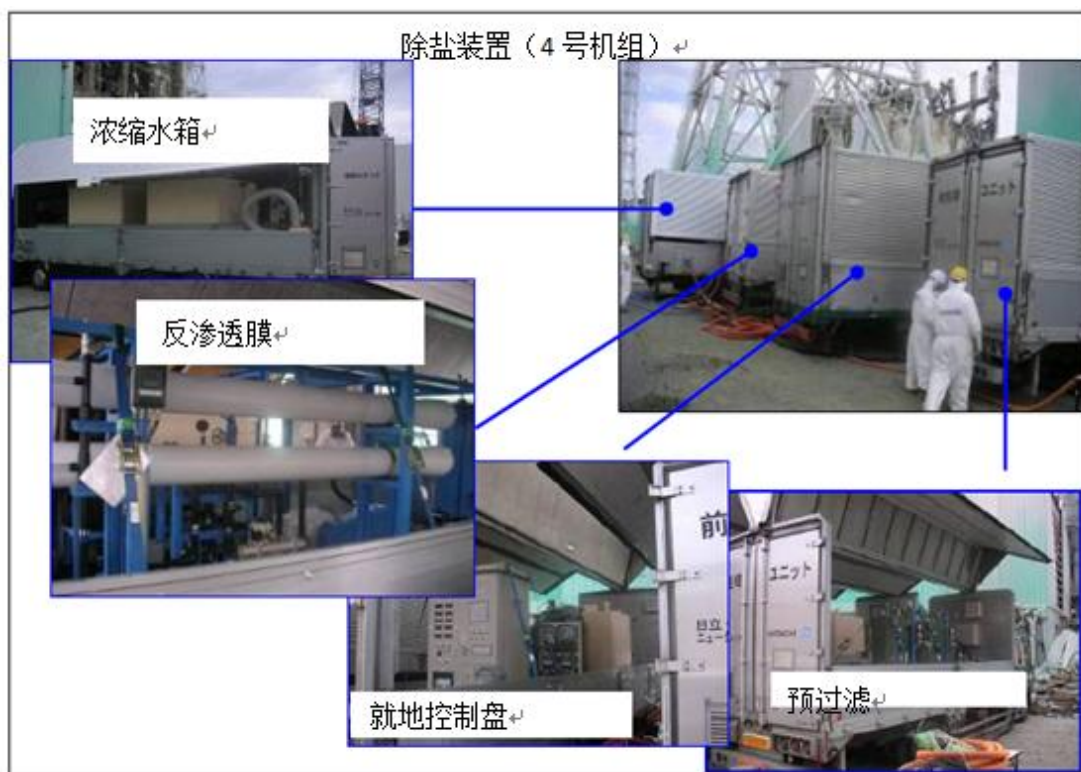


图 4-6 福岛第一核电站 4 号机组除盐装置

## II 缓解

### (3) 积水

#### 1. “减少积水的总量”的第 2 步目标

- 通过处理装置的稳态运行来减少积水量；
- 增加高放污染水处理装置、稳态运行和去污水的除盐；
- 开始考虑全尺寸处理高放积水装置；
- 贮存/管理从高放积水处理装置产生的废物；
- 为了缓解污染海域，在港口安装不锈钢管。

#### 2. 工作进度

##### ① 积水处理的状态

- 直到 9 月 18 日，大概处理了 95420 吨积水。
- 积水达到目标水位 (O.P.3000)。

##### ② 为了稳态运行实施加强可靠性的对策 (对策 43)

- 8 月 18 日，安装铯吸收装置 (SARRY)，完成增加去污装置。

##### ③ 增加除盐装置 (对策 43)

- 安装蒸发装置 (8 月 7 日和 31 日，两条管线)。
- 通过反渗透设备，8 月 9 日的结果表明氯浓度已从 6000ppm 降到 20ppm。通过蒸发装置，8 月 16 日的结果表明氯浓度从 12000ppm 降到 1ppm。
- 而且，到 10 月中旬，将增加蒸发装置。

##### ④ 贮存/管理滞留废物 (对策 81)

- 从高放污染水处理装置中产生的高放射性废物正安全放置和管理在集中废物处置厂房中。
- 正在执行安装贮存滞留废物设施的准备工作，目的是提高贮存滞留废物的能力。

##### ⑤ 安全贮存 (对策 42)

- 9月17日，进行贮存高放积水罐的安装工作，目的是扩展高放积水的贮存能力。

⑥ 阻止污染海域（对策 64）

- 作为一种缓解污染海域的措施，9月末计划在1号和4号机组的南侧吸入口，完成放置钢管板桩。



图 4-7 安装钢管板桩的情况

(4) 地下水

1. “缓解污染海域”的第2步目标

- 通过控制积水流入地下水，来缓解地下水的污染及通过地下水污染海域。
- 在1到4号机组的防波堤前，着手建造水屏蔽墙以缓解通过地下水污染海域。

2. 工作进度

① 考虑水屏蔽墙（对策 68）

- 为了进一步缓解对海域的污染，8月31日已经完成在1到4号机组已有防波堤前，安装防水的钢管板桩的基本设计。

- 目前正在考虑该设计的详细规格书。

② 防止地下水污染的扩散（对策 67）

· 7月29日，在汽轮机厂房侧次级排水地坑7个位置安装泵。

(5) 空气/土壤

1) 安装1号机组反应堆厂房保护罩

· 2011年6月24日，NISA进行了安全验证，6月28日开始建造。首先在小名滨港实施了初步拼装；8月10日-9月9日，进行钢框架搭建；10月28日，在完成盖板和通风等辅助设备安装完后，1号机组反应堆厂房保护罩的安装工作顺利完成。

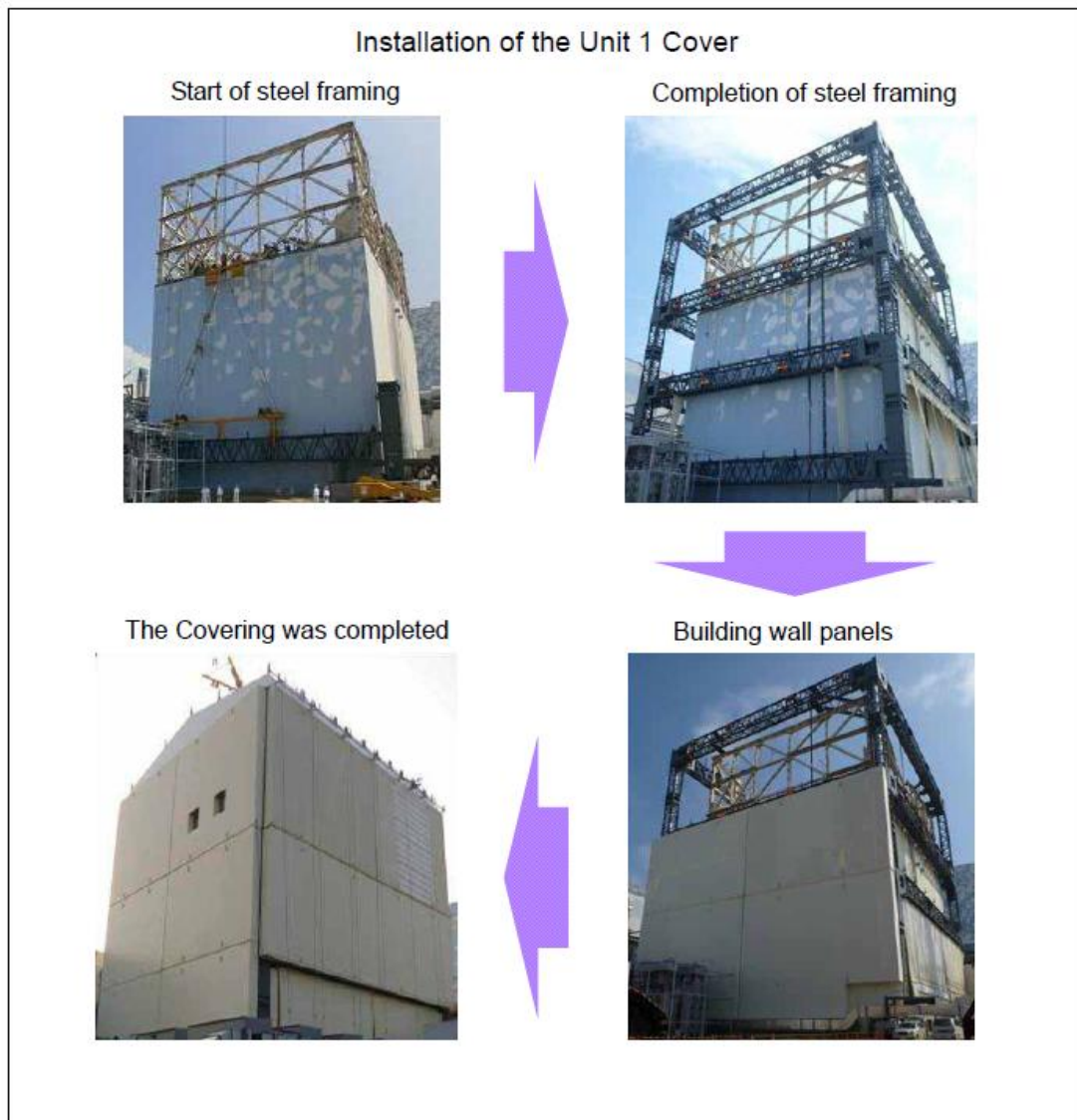


图 4-8 号机组反应堆安全罩的安装



## 2) 3、4 号机组反应堆厂房顶部碎片移除

· 在安装 3、4 号机组保护罩之间，先进行了反应堆厂房的碎片移除工作。在准备移除过程中，进行了基础设计、地面杂物清理和障碍物拆迁工作。2011 年 9 月 10，开始 3 号机组反应堆厂房上部碎片移除，9 月 21 日，开始 4 号机组反应堆厂房上部碎片移除。为了防止坠落物对燃料的伤害，10 月 4 日对乏燃料池进行了保护性遮盖。



图 4-9 3 号机组移除碎片残骸的工作

图 4-10 4 号机组移除碎片残骸的准备工作

准备工作

## 3) 移除和管理碎片

- 9 月 20 日，大概 800 箱的碎片已经移除（对策 53、84）
- 移除碎片的废物依据放射性剂量分类并在储存区储存。

### <储存区管理>

- 依据放射性剂量，碎片装箱并贮存在厂区。
- 已经标注接近废物区的通道，粘贴“禁止入内”标志，以防止未经授权个人进入。

### <储存区保卫>

· 除了放射性积水的处理设施和其他正在建造的区域，储存区全部在厂址区，并实施安保。



图 4-11 储存碎片残骸的容器



图 4-12 储存帐篷

#### 4) 在 PCV 上安装气体控制系统

· 为了减少从 PCV 中释放放射性物质，当 RPV 底部温度降到 100°C 以后，计划在 1 到 3 号机组安装抽气系统，抽取与注入氮气相同数量得气体，以保持 PCV 的压力。

· 抽出来的气体先过滤，监测之后排放。

· 反应堆温度降低后，从 PCV 释放的放射性物质也会降低。另外，从 PCV 释放的放射性物质可以被该系统进一步缓释。

### III 监测和去污

#### (6) 测量、降低、公布

##### 1) PCV 额外释放引起的公众辐射照射剂量

- 在 1-3 号机组反应堆厂房等的上部，利用空气中放射性浓度（粉尘浓度）评估 PCV 铯的当前释放率；在 2011 年 12 月时，1-3 号机组总释放率最大约为  $6 \times 10^7 \text{Bq/h}$ ，为事故发生时释放率的 1/13000000；
- 在海上利用空气中放射性浓度（粉尘浓度）对 1-3 号机组 PCV 铯的当前释放率进行评估，在 2011 年 12 月时，约为  $2 \times 10^7 \text{Bq/h}$ ；

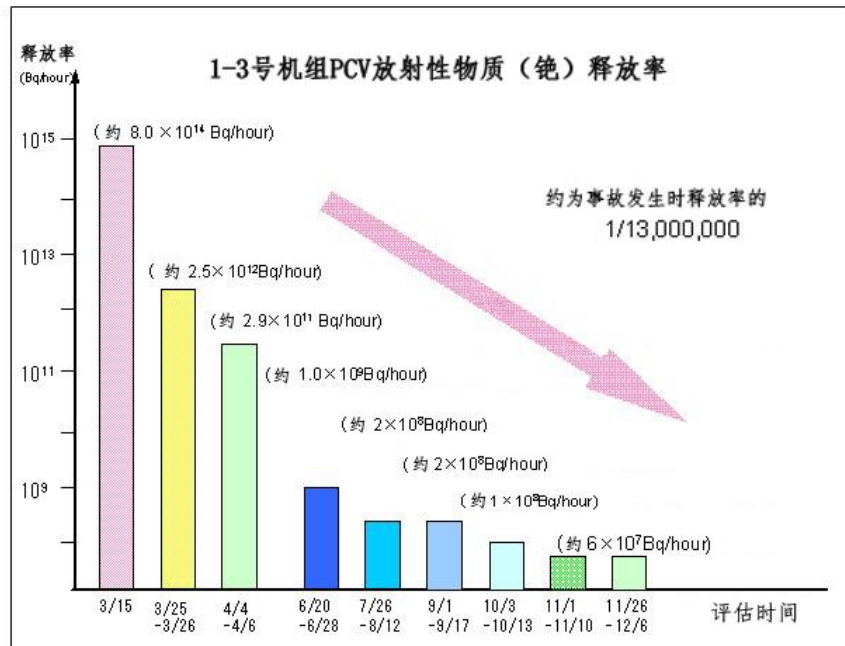


图 4-13 号机组 PCV 放射性物质（铯）释放率

- 基于上述释放率，对厂址周围的年辐射照射进行评估，最大约为 0.1 毫希弗/年；
- 通过 PCV 空气控制系统的数据监测，1、2 号机组惰性气体释放率估值约为  $9.2 \times 10^9$  Bq/h 和  $\times 10^8$  Bq/h，3 号机组 PCV 空气控制系统正在建造中。基于上述释放率，1、2 号机组总的照射剂量约为 0.00011 毫希弗/年，这个比率比用铯的释放率的得出的照射剂量低得多，因此利用铯的释放率作为主要释放率。

2) “充分减少放射性剂量”的第 2 步目标

- 扩展和加强监测和持续公布；

3) 中央政府、辖区、自治市及营运单位的联合监测

- 开始全范围去污。

2.工作进度

① 评价目前放射性物质的释放量（对策 60、61）

- 为了评价 1 到 3 号机组目前的释放率，实施反应堆厂房上方、陆地和海洋的气载放射性浓度的采样和测量工作。

- 利用反应堆厂房上方和周边地区（陆地和海洋）的气载裂变产物浓度（尘埃浓度），已经评价了 1 到 3 号机组的放射性释放率。

- 利用在 1、2 号机组反应堆上部尘埃浓度，评价 1、2 号机组目前释放率约为 0.04billion Bq/h。3 号机组的释放率正在被重估。

- 目前在海域，使用尘埃浓度评价的总的释放率约为 0.13billion Bq/h。可能有先前释放的放射性物质的影响。

- 因此，目前总的释放率为 0.2billion Bq/h，大概是事故发生时的 1/4000000。

## ② 政府、辖区、自治市和营运单位联合监测（对策 62）

- 执行或将要执行如下陆地和海域测量：

### 【陆地】

<监测 20km 半径以内>

- 通过支持单位测量 50 个点的气载放射性浓度（每周一次）；
- 相同的 50 个测点和另外 50 个点的土壤样品（两个月一次）；

### 【海域】

- 厂址区海湾的海水 11 个点（一天一次）；
- 沿岸海水的 4 个点（一天一次）；
- 20km 半径内海水的 8 个点（两天一次）；
- 30km 半径内海水的 3 个点（一周一次）；
- 30km 半径内海水的 10 个点（一周一次）；
- 海底土壤测量的 25 个点（一月一次）

2012 年 1 月 5 日，文部科学省（MEXT）发布福岛第一核电站周边海域监测结果：截止 2011 年 12 月 10 日，福岛第一核电站 5、6 号排水口北侧、南排水口附近、15Km 内的近海和福岛第二核电站 15Km 的近海均未发现 Pu-238、Pu-239 和 Pu240<sup>[19]</sup>。

### 【茨城县】

- 海水 5 个点（一周一次）；

#### 【宫城县】

- 海水 6 个点（两周一次）；
- 将要配备无人探测船。在海湾运行测试后，将会收集海水和海底土壤的样品。

9 月 1 日，文部科学省宣布在限制区和撤离区执行“宽范围监测”。营运单位提出计划并进行监测（总计约 800 人）。

- 将目标区分为 2km×2km 网格，基于收集的基础数据，在每一个网格选择约 20 个点，从 7 月 4 日到 8 月 20 日监测气载放射性浓度。

人口稠密区如学校、公共设施、公园、商场、超市、寺庙，分割成 500m×500m，选 16 个点。

- 基于宽范围监测结果，目的是收集基础数据为提高环境采取措施，详细调查家庭、道路、学校等，从 6 月中旬到 10 月底，开始执行“详细的个人监测”。

- 8 月 30 日，文部科学省宣布执行“放射性污染图”。电力企业提供支持。

#### ③ 考虑全范围去污（对策 63）

- 8 月 26 日，已经建立“推动去污工作的基本概念”和“去污工作应急响应的基本政策”。

- 目前，“地方区的去污工作导则”便于各个地方的去污工作。

· 基于“去污工作应急响应的政策”，为了尽快执行去污工作，9 月 9 日，内阁决定从 3.11 恢复和重建基金中花费大约 2200 亿日元。

· 从 8 月中旬，在 Date 和 Minamisoma 城包括居民、道路和植被，开始去污工作。到现在，去污工作拓宽到限制区和撤离区的 12 个自治市。

- 传播“在 2011 年 3 月 11 日 3·11 大地震中由于核电厂事故释放的放射性物质，去除污染环境的具体措施的行动”。

· 营运单位将通过目前个人详细的监测收集有效去污信息。具有这些结果，营运单位将支持政府和辖区的去污工作。

· 营运单位将和福岛县合作减少居民的照射。

#### IV 余震的对策等

##### (7) 海啸和加固等

###### 1. “缓解进一步损失”的第 2 步目标

- 采取措施缓解紧急事件（地震、海啸等）的灾难，阻止事件恶化；
- 考虑每一个机组必要的加固工作；
- 持续完成不同的放射性屏蔽措施。

###### 2. 工作进度

###### (1) 对所有机组实施抗震评估

- 考虑实施和评估应堆厂房的抗震和加固，1、4 号机组于 2011 年 5 月 28 日完成，3 号机组于 2011 年 7 月 13 日完成，2、5 和 6 号机组于 2011 年 8 月 26 日完成)；
- 除了上述评估，还对给水系统管道支撑结构实施目视检查评估，尤其是薄弱处支撑处，最终结论显示所有支撑结构都是健全的。



图 4-14 管道支撑结构

###### (2) 为 4 号机组乏燃料池安装支撑机构



分析结果表明，抗震量是足够的，不需要进行加固，但是还是在乏池底部安装了支撑机构以扩展安全裕度。

- 2011年6月20日，完成钢支柱安装以减少负荷；
- 2011年7月30日，完成混凝土灌浆以确保坚固。

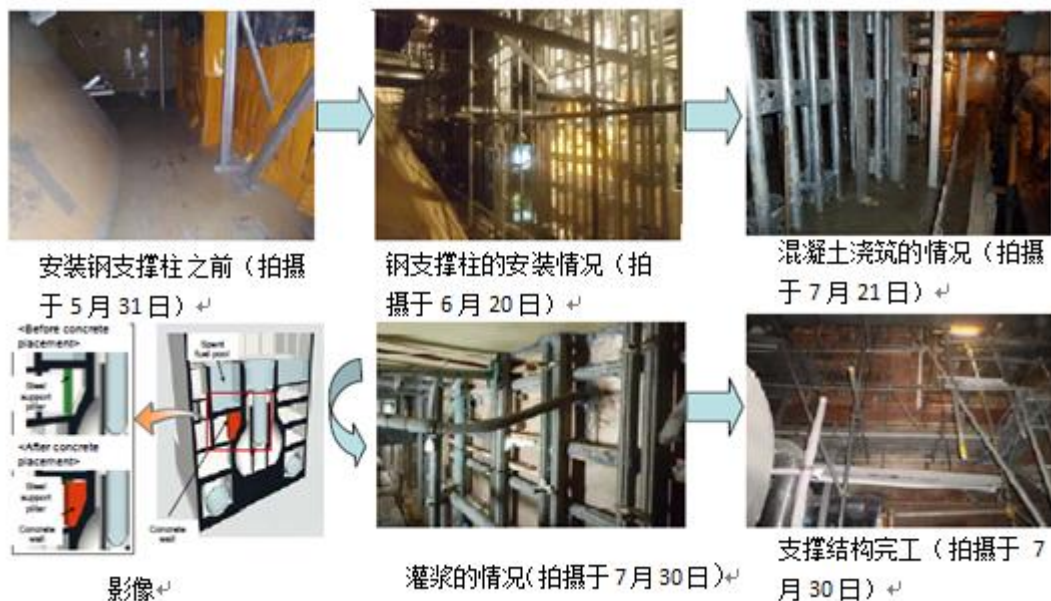


图 8-10 4号机组支撑结构的安装情况

### (3) 安装临时潮屏障

一些专家和机构指出，东北部太平洋地震的震中区域周围可能发生 8 级余震，因此，在 2011 年 5 月 18 日至 6 月 30 日间建立了临时潮屏障以抵御余震引起的海啸。

### (4) 多种辐射屏蔽对策

- 倘若反应堆或乏燃料池注水长期中止，执行防止放射性物质释放和屏蔽辐射的措施；
- 为防止放射性物质释放以及屏蔽辐射，安装将泥浆（水和固体物质的混合物，如沙）从反应堆和乏燃料池上部注入的设施。



图 4-15 灌浆设施（从左到右依次为：制造、传送管、混凝土泵车）

## V 改善环境

### （8）生活/工作环境

#### （1）改善吃饭、洗澡和洗衣设施等

- 从五月开始，为福岛第二核电站等地方提供午餐和晚餐；
- 在临时宿舍内安装淋浴和洗衣设备。

#### （2）建立临时宿舍和场内休息站

- 8月31日，完成建造的临时宿舍可容纳1600人，截至2011年11月1日约1100人入住；
- 截至11月1日，建立了20个场内休息区，约4750m。



图 4-16 场内休息站的外部（左）和内部（右）



图 4-17 场内休息站（从左到右依次为：饮用水等用品，卫生间，空气浴）

(9) 辐射控制/医疗

(1) 实施健康检查和医疗措施：

1) 健康检查

- 根据厚生省（MHLW）指示，TEPCO 于 2011 年 4 月 5 日对那些每月辐照剂量高于 100mSv 和从事应急工作超过一个月的人员进行额外的健康检查，截至 2011 年 10 月，额外健康检查的实施率为 86.5%；
- 从 2011 年 11 月 24 日起，开始对新入现场的工作人员的当前健康状况进行常规检查，并对医疗史进行追踪。

2) 防止中暑和流感的医疗措施

- TEPCO 根据 MHLW 指示，实施防中暑措施，如限制工作时间/提供工间休息，提供清凉背心，确保摄入足够的水和盐，监测健康状况等；
- 为了预防流感，准备了预防感染物品，进行疫苗接种，在现场出入口通过温度计对生病人员进行控制。



图 4-18 对抗流感措施

(2) 增加全身剂量计数器（WBC），每月进行内照射测量；



图 4-19 全身剂量计数器（WBC）

(3) 照射剂量管理

- 对于 NISA，强化辐射控制和照射剂量管理；
- 在福岛第一核电站主抗震厂房内安装条形码系统用作出入控制，同时开始自动记录和保存个人辐射剂量；



- 发放个人照射剂量表单；
- 引进员工照片识别；
- 将辐照剂量数据从个人电脑转移到主计算机，从而提高了可靠性、可维护性和安全性。
- 考虑长期医疗，如加强员工的安全培训，建立数据库跟踪员工健康。

#### (4) 持续加强医疗系统

##### 1) 建立和维护紧急医疗室

- 从 2011 年 5 月 29 日开始，增加一个医疗队，建立了一个医疗健康体系；
- 从 2011 年 9 月开始，向 5、6 号机组派遣紧急医疗专家，使经济医疗室的服务时间从仅为夏季转为全年；
- 实现护士和辐射专家 24 小时在场。



图 4-20 主抗震厂房内的医疗室



图 4-21 5、6 号机组内的紧急医疗室

## 2) 迅速的病人转移

- 通过改善医疗和净化设施，能够确保迅速运送病人，可直接将没有被照射急诊病人送到医院。

## (10) 职员培训/人员安置

### (1) 联合政府和 JEPSCO，促进员工培训

- 对从事放射性相关工作高需求员工进行培训；
- TEPCO 一直在对员工和集团公司职员进行“辐射调查人员培训”，已培训员工约 4400 人；
- 政府一直在进行“辐射调查人员培训”（截止 10 月 7 日，已进行 5 次，约 200 人接受培训），“辐射防护人员培训”（截止 12 月 16 日，约 70 人接受培训），并持续进行这些培训；
- 依据附属公司的需要，推出一个新的框架——通过 JAIF 在全国范围内寻找员工。



图 4-22 辐射调查人员培训

### (2) 确保足够数量的员工

- 从 2011 年 10 月至 12 月，TEPCO 已经对 70 名从事高放射性水平工作的员



工进行岗位调整；

- 为了不断的确保有足够数量的员工，TEPCO 实施了一项调查问卷以改善工作环境。基于这个结果，TEPCO 实施了一系列改进，诸如减少全面罩区、通过利用门监视器进行快速辐射检测等；
- 降低主抗震厂房内的照射剂量。

## VI 应对中期问题对策

### 1 第 2 步目标

- 政府起草中间安全措施的政策；
- 营运单位基于以上政策发展电厂运行计划。

### 2. 目前状态和完成的工作

——NISA 正在考虑“中期安全政策”。

## (二) 事故退役路线图

2011 年 12 月 21 日，政府-东电召开中长期对策会，经济产业省（METI）部长、核事故预防与恢复省部长和会议联合主席参加会议。会议正式通过“东电公司福岛第一核电站 1-4 号机组退役中长期路线图”，这是福岛核电站未来 40 年退役计划的第一步。该路线图由 TEPCO、ANRE 和 NISA 共同草拟。

对中长期问题的基本政策：

政策一：系统的解决问题，把当地居民和工人的安全放在首位；

政策二：向前推动工作，同时保持与当地和国家公民的联络，获取他们的理解和尊重；

政策三：在考虑场内情况和最新研发结果的基础上，不断更新这个路线图；

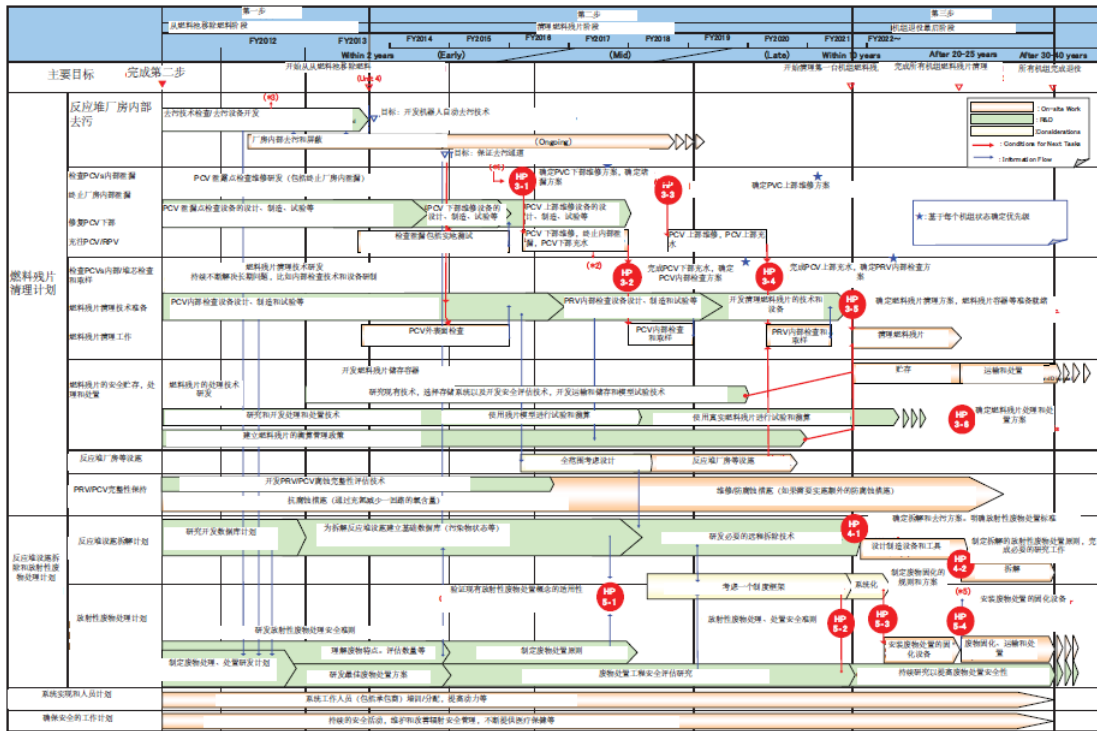
政策四：协调 TEPCO、ANRE 和 NISA，实现目标。

中长期路线图中将退役分为三个阶段：

阶段 1：从恢复路线图第二步完成到开始从乏燃料池内移除燃料，，预计 2 年内完成。

阶段 2：从阶段 1 完成到开始移除燃料碎片，预计 10 年内完成。





图中 HP: H 点 (判断点)

图4-24 福岛1-4号机组退役中长期路线图主要进度

### (三) 研发 (R&D) 路线图

为响应“事故退役路线图”，自然资源与能源部 (ANRE) 和 TEPCO 在文教科学省、JAEA、东芝公司和日立/日立-通用核能有限公司的协作下开发了“R&D 路线图”。这个路线图由四部分组成：R&D 的基本理念、R&D 的计划、R&D 的实施框架和理想状态下的国际合作。为福岛第一核电站 1-4 号机组退役进行的 R&D 将按照这个路线图稳步开展。另外，从这个研发中获得的知识和技术，预计将会在日本和世界各地的核设施退役技术和安全基础设施的改善中被广泛的应用。

#### 1. R&D 的基本理念

R&D 的目标是 (在第二步完成后) 在确保电厂工作人员和附近居民安全的同时建立维持电厂稳定状态的有效方法，移除乏燃料池中的燃料，移除堆芯内燃料碎片，并完成电厂退役计划中的其他步骤。R&D 不同于其他正常的研究，它的结论将直接用于福岛第一核电站的退役。正因为这样，R&D 的范围包括现场技术示范。

#### 2. R&D 的计划

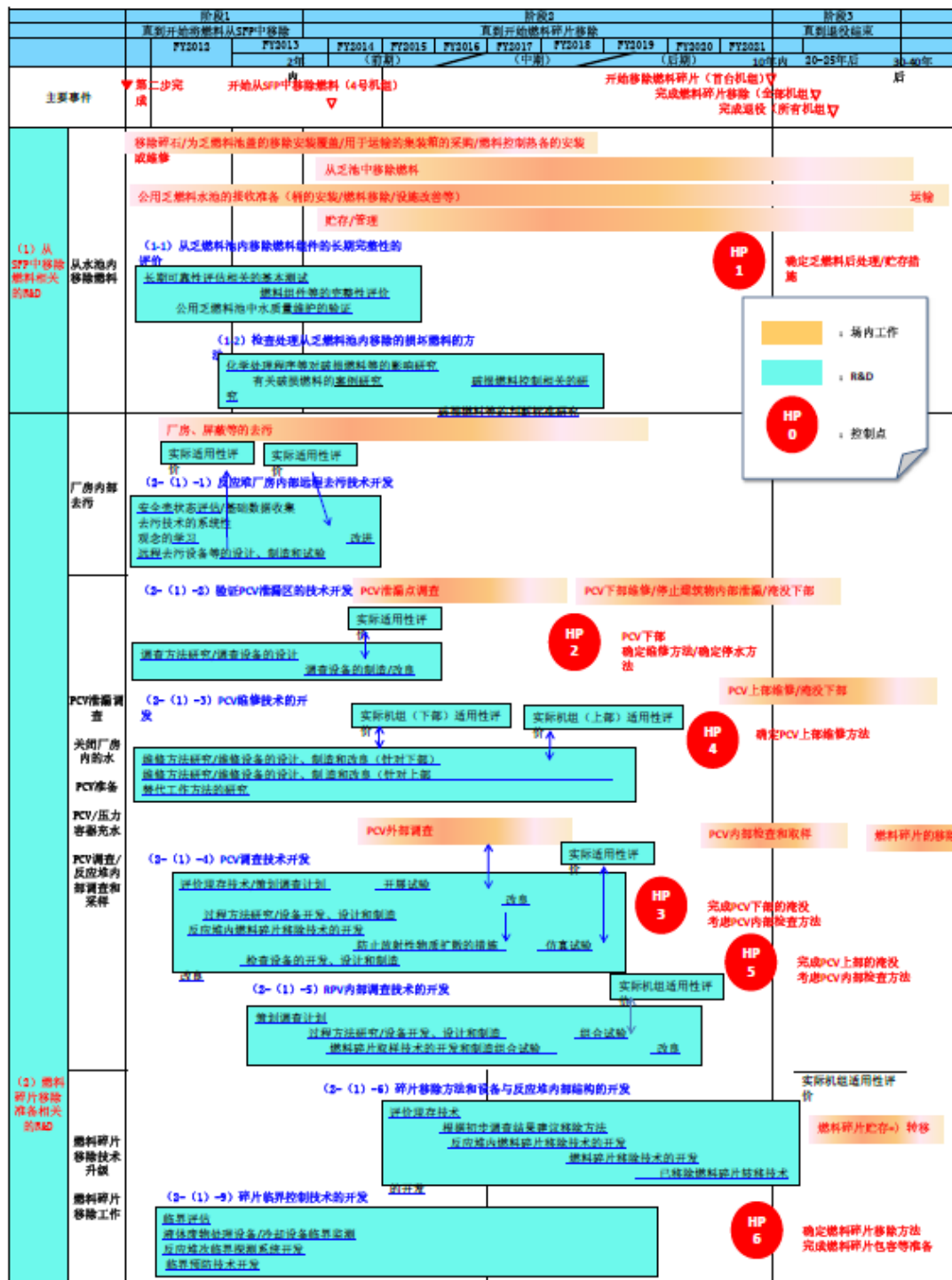
为开展退役工作，R&D 路线图中绘制出了需解决和攻克的技术问题。R&D 路线图中将所有的 R&D 分为“从乏燃料池中移除燃料相关的 R&D”、“准备移除燃料碎片相关的 R&D”、“放射性废物处理与处置相关的 R&D”和“远程控制设备先关的 R&D”。这个路线图同“福岛 1-4 号机组退役中长期路线图”一样，分为三个阶段：（如图）

阶段 1：从第二步完成到开始从乏燃料池移除燃料。为退役进行的很多准备工作都将在这一阶段实施，包括开始从乏燃料池移除燃料的准备、开始移除燃料碎片所必须的 R&D 准备和实施第一个领域的调查。

阶段 2：从阶段 1 完成到开始移除燃料碎片（残片），预计 10 年内完成。在这一阶段，为移除燃料碎片所进行的许多 R&D 活动和主安全壳维修过程全面开展。其中“前期”、“中期”和“后期”用于衡量这一阶段的进展。

阶段 3：从阶段 2 完成到退役完成就，预计 30-40 年内完成。期间，从燃料碎片移除到退役的所有进程都将在这一阶段实施。

涉及到远程拆解反应堆设施的 R&D，将继续寻找包括现存技术是否可以用于构建一个含有污染状况信息的基础数据库的研究的必要性。



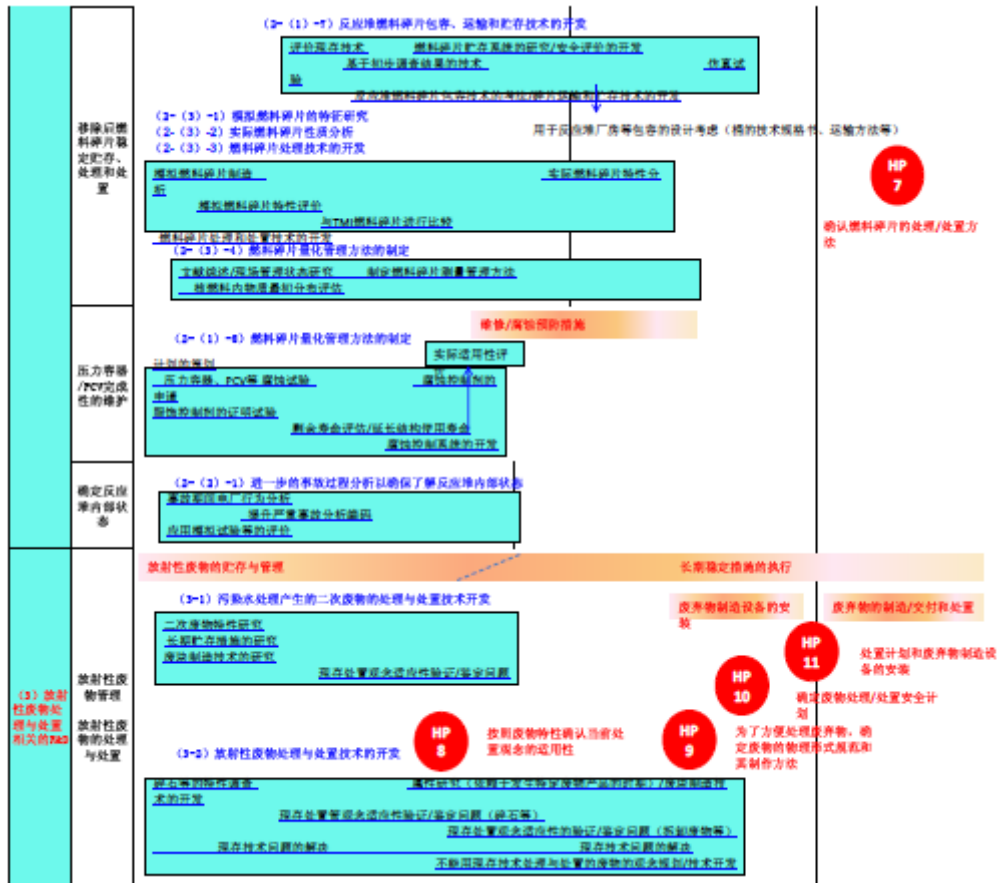


图 4-25 福岛第一核电站 1-4 号机组图退役研发路线图

### 3. R&D 的实施框架

成立 R&D 指挥部。指挥部由 ANRE、文部科学省、JAEA、TEPCO 和东芝公司和日立/日立-通用核能有限公司组成，这些公司作为电站承包商在福岛第一核电站的设计和建造中拥有丰富的专业知识和经验。作为 R&D 指挥部的行政组织，日本政府指派一名合适的人为主管，负责 R&D 管理；同时还任命一位 R&D 副主管，协助主管工作。除此之外，还将成立 R&D 指挥办公室，行使 R&D 项目职责。

日本政府和 TEPCO 将在指挥部内成立工作组和分工作组，为每个领域的研发编制计划和提供全范围协调。工作组主要分为：乏燃料池对策工作组、燃料碎片移除工作组（设备开发等分工作组、堆芯状态评价和分析分工作组、燃料碎片性能评价和处理准备分工作组）、放射性废物处理和处置工作组和远程技术联合特遣部队（跨领域事宜）。

成立行政办公室。办公室由相关组织的代表组成，负责 R&D 整体管理的文书工作，RNRE 担任执行秘书。TEPCO 负责监督各领域工作组的现场办事机构。



#### 4. R&D 的实施框架

成立 R&D 指挥部。指挥部由 ANRE、文部科学省、JAEA、TEPCO 和东芝公司和日立/日立-通用核能有限公司组成，这些公司作为电站承包商在福岛第一核电站的设计和建造中拥有丰富的专业知识和经验。作为 R&D 指挥部的行政组织，日本政府指派一名合适的人为主管，负责 R&D 管理；同时还任命一位 R&D 副主管，协助主管工作。除此之外，还将成立 R&D 指挥办公室，行使 R&D 项目职责。

日本政府和 TEPCO 将在指挥部内成立工作组和分工作组，为每个领域的研发编制计划和提供全范围协调。工作组主要分为：乏燃料池对策工作组、燃料碎片移除工作组（设备开发等分工作组、堆芯状态评价和分析分工作组、燃料碎片性能评价和处理准备分工作组）、放射性废物处理和处置工作组和远程技术联合特遣部队（跨领域事宜）。

成立行政办公室。办公室由相关组织的代表组成，负责 R&D 整体管理的文书工作，RNRE 担任执行秘书。TEPCO 负责监督各领域工作组的现场办事机构。

#### 5. 理想状态下的国际合作

为有效实施福岛第一核电站 1-4 号机组退役的中长期策略，必须集结国内外的智慧。为此，日本除了获得本国各领域广泛的技术知识，与国际组织的合作也是至关重要的。将利用三哩岛和切尔诺贝利事故处理组织的专业知识和经验。

### 日本总结的经验教训

#### 第一类教训

##### 严重事故的预防

- 1、加强抗地震和海啸的措施
- 2、确保电力供应
- 3、确保反应堆和安全壳可靠的冷却功能
- 4、确保乏燃料池的可靠冷却功能
- 5、全面的事后管理（AM）措施
- 6、对多机组厂址的响应问题
- 7、在基本设计中考虑核电站布置
- 8、确保重要设备和设施的防水性

## 第二类教训

### 应对严重事故的对策

- 9、 加强防止氢气爆炸的措施
- 10、 加强安全壳通风系统
- 11、 改善事故响应的环境
- 12、 加强在事故期间的辐射照射管理系统
- 13、 加强对严重事故响应的培训
- 14、 加强反应堆和安全壳的仪表
- 15、 集中控制应急装备和建立救援队

## 第三类教训

### 对核应急的响应

- 16、 对重大自然灾害和核应急叠加情况的响应
- 17、 增强环境监测
- 18、 中央和地方组织职责的澄清和分配
- 19、 加强关于事故的交流
- 20、 加强对其他国家援助的响应和与国际团体的沟通
- 21、 准确的理解和预测释放的放射性物质的影响
- 22、 清晰定义大范围疏散的准则和核应急中放射学防护标准

## 第四类教训

### 加强安全基础建设

- 23、 加强安全监管和管理体系
- 24、 建立和加强法律结构，标准和指导方针
- 25、 核安全和核应急准备与响应方面的人力资源
- 26、 确保安全系统的独立性和多样性
- 27、 在风险管理中有效地使用概率安全评价（PSA）

## 第五类教训

### 全面灌输安全文化

- 28、 全面灌输安全文化