

## 日本福岛第一核电站 应急响应技术工作：

# 核灾难带来的 职业健康挑战



姜帅 摘译 周志俊 审校

复旦大学公共卫生学院/教育部公共卫生安全重点实验室/WHO 职业卫生合作中心, 上海 200032

关键词: 日本福岛; 核电站; 核灾难; 应急响应; 职业健康挑战

中图分类号: R-013; X591 文献标志码: E 文章编号: 1007-1326(2013)01-0035-03

### 事故简介

2011 年 3 月 11 日日本东海岸因 9 级地震引发的海啸, 严重破坏了日本福岛第一核电站。突然断电以及发电机的停止供电造成冷却功能和循环水供应系统都不能正常工作。氢气爆炸摧毁了两个反应堆厂房, 同时反应堆堆芯系统也崩溃了。这次核事故被认定最严重级别 7 级, 与发生在 1986 年 2 月的切尔诺贝利核事故程度相当。

经过努力, 核反应器装置冷却系统终于稳定, 放射性物质释放得到有效控制。2011 年 12 月 16 日, 日本政府、东京电力公司和技术支援公司完

作者简介: 姜帅(1988-)男, 硕士, 研究方向: 重金属暴露与健康。

全关闭了所有受海啸影响的反应堆。在此期间, 人们做出许多努力去保护灾难应急响应的技术工人。本文的目的是介绍日本福岛事故灾害给应急响应技术工人带来的巨大风险。

### 工作任务

海啸发生后, 福岛第一核电站灾难应急响应技术工人的任务是修复反应器和燃料池的冷却系统, 控制和处理受放射性物质污染的水, 并减少放射性物质向环境中排放, 最终实现日本福岛第一核电站的冷停。为了实现这些目标, 人们对这些点的辐射水平进行了监测, 以避免任何额外放射性物质的释放。与此同时, 在确保工人安全和健康的前提下, 清理废墟也在进

行。这些工作是福岛第一核电站退役过程中初步工作的一部分, 而退役过程可能需要持续 30 ~ 40 年。

在事故的早期阶段, 首要任务是确保供电、恢复冷却系统、最大程度减少反应堆爆炸的风险, 这在 3 月 26 日成功实现。接下来的工作重点就是保持反应堆稳定和水去污。东京电力公司及其技术支持公司的约 2 000 ~ 3 000 名应急响应技术工人每天都去事故现场, 一直工作到 2011 年底。事故发生后, 妇女不得进入工厂。

### 工作和工作场所的危害

现场可识别的危害包括: 辐射、热、紧张、机器操作及手工处理。最初, 潜在的氢气爆炸和反应堆崩溃造成的

高辐射暴露是工人面临的最严重危害。从 5 月开始,热暴露成为一个极其重要的危害,因为夏季天气炎热,工人不得不在室外工作且穿着双层特卫强工作服和全面罩呼吸器,这使得皮肤蒸发散热受阻。工人面临着多种工作相关及个人的紧张因素。工人为了使核反应堆冷停,在机器操作、人工清理海啸废墟及稳定核反应器时也面临受伤的危险。

#### 辐射

在 3 月 12 日 1 号反应器发生爆炸,3 月 14 日 3 号反应器发生爆炸,15 日 4 号反应器发生爆炸以及 2 号反应器中的燃料棒发生泄漏,随之放射性物质被直接释放到周边地区。在福岛第一核电站正门监测点所记录的环境暴露最高水平辐射量为  $3\ 130\ \mu\text{Sv/h}$ 。表 1 列出了 2011 年 3 月到 5 月工人的外暴露、内暴露和总辐射暴露情况。

3 月,全身计数器检测发现 6 名工人的内暴露最高剂量超过了  $200\ \text{mSv}$ 。工人的最高暴露量估计为  $670.4\ \text{mSv}$ 。在如此高的接触下,如因呼吸器泄漏、或因不正确的接触评估和不恰当的应急操作、没有佩戴呼吸器,工人可能会吸入放射性粒子。3 月,因为许多袖珍报警剂量计被海啸卷走了,并不是所有工人都佩戴袖珍报警剂量计。代之,每个小组的领导佩戴袖珍报警剂量计,根据暴露水平和时间来估计外照射剂量。到了 2011 年 10 月 31 日,用全身计数器对所有 17 780 名工人内暴露剂量进行测量,109 名(包括 16 名不明身份的)工人没有参加。在福岛第一核电站,全身计数器测试用于监测,而不是生物剂量。

随着操作的进展以及释放出的主要放射性物质核素碘-131 逐渐衰减成没有放射性的氙-131(半衰期大约 8 d),工人暴露的辐射量逐渐减少。所以,在 5 月所有工人月累积暴露剂量不超过  $50\ \text{mSv}$ 。事故发生前,根据国际辐射防护委员会建议,日本工人辐射暴露限值的有效剂量为每年  $50\ \text{mSv}$  和 5 年内  $100\ \text{mSv}$ 。2011 年 3 月 14 日,在这场不可避免的紧急事件后,政

府将辐射有效剂量限值从  $100\ \text{mSv}$  调整至  $250\ \text{mSv}$ ,以确保能在现场进行工作的工作技术和专业工人的数量。在 2011 年 12 月 16 日,日本卫生、劳动和福利部将有效剂量限值恢复成灾难发生前的  $100\ \text{mSv}$ 。

在切尔诺贝利灾难中,134 名工作人员和紧急救援人员,接受剂量范围从  $0.8\sim 16\ \text{Gy}$  不等的高剂量辐射,导致急性辐射综合征,并在前 4 个月内有 28 人相继死亡。相反,在福岛第一核电站事故中,还没有工人出现因急性辐射综合征引起的疾病,但几乎 99% 的工人都暴露在小于  $100\ \text{mSv}$  的辐射剂量下,对他们未来健康不良影响的可能性是不确定的。

#### 热

福岛第一核电站从 6 月至 9 月的夏季环境气温日间湿球温度经常超过  $28\ ^\circ\text{C}$ ,穿着双层特卫强工作服,带着防护面罩和高强度的体力工作量,将使核电站所有工作人员面临中暑的高风险。对于那些没有热习服、从事重体力劳动和穿着轻量服装的工人,美国政府工业卫生医师协会(ACGIH)提出的规定是一天工作 8 h,一周工作 5 d,在  $28\ ^\circ\text{C}$  环境中工作休息时间比例应当为:休息时间 75%,工作时间 25%。穿着聚烯烃连身工作服工人的修正暴露值为  $+1\ ^\circ\text{C}$ ;然而,像双层特卫强那么厚的连身工作服修正后暴露水平不是那么容易评估。

#### 压力

由于事故,工人暴露于多重压力。工人担心潜在的爆炸、高剂量的辐射暴露和连续的余震。此外,最初期的紧急救援人员在福岛第一核电站半径 20 km 范围内进行定居,而政府命令疏散他们的家庭和亲属到其他地区。因为海啸,有些工人也失去了自己的家人和亲戚。工人的临时住所设在一个公共体育馆以外的避难场所,生活条件十分恶劣。工人的生活条件没有如预期发生改善,因为东京电力公司也被迫将人们转移到疏散中心,那里生活条件也非常差。在福岛第一核电站懂技术和专业的工人数量是有限

的,所以他们往往需要工作很长时间。

#### 机器操作和人工处理

发生灾难后首先要确保交流电源的供应以稳定核电站。此后,清除废墟和实现冷停程序工作是通过机器操作和人工处理完成的,这都给工人带来受伤的风险。一些轻度和中度损伤需要转诊到二级或三级医疗机构进行救治。截止 2011 年 12 月 31 日,还没有致死性伤害的报告。

#### 保护工人的措施

#### 放射

事故发生后不久,位于福岛第一核电站以南 20 km 的 J 村足球训练基地被用作工人进入核电站前的中转场所。他们在此穿戴防护装备,并在离开时进行去污测试。工人的住宿场所设在疏散区 20 km 外。现场指挥设在福岛第一核电厂内一桩防震型建筑内,此处有高效空气纯化系统对辐射暴露进行控制,并有一些房间供工人过夜。

福岛核事故采取了系列措施来控制外暴露和内暴露。为了尽量减少外照射,人们对现场的辐射水平进行了评估,工人使用袖珍报警剂量计监测其辐射暴露量。为了防止工人吸入放射性粒子和气体造成内暴露,工人穿了一件带 P100 过滤器的紧身全面罩呼吸器。为了尽量减少皮肤污染,工人穿戴着双层特卫强工作服(防止操作过程中被撕破)、双层(内层棉布和外层橡胶)手套及安全鞋再加氯乙炔鞋。因为工人踏入水洼,受污染的水将会进入他们的靴子,仅安全鞋不能防止具有穿透性的放射性物质穿透。另外,头盔也是必要的。所有的个人防护设备是一次性的,而且被存储在限制区域内。在基地入口处使用盖革计数器来测量和严格控制每个人的辐射水平。

日本卫生、劳动和福利部 4 月 25 日要求,对曾接触到  $100\ \text{mSv}$  辐射或曾在该地方工作超过 1 个月的工人进行定期的健康体检。现场操作结束后 3 个月内每周进行 1 次,直至 2011 年 12 月 16 日,包括所有不良的健康状

况、皮肤检查、白细胞和红细胞计数检查(暴露 $<100\text{ mSv}$ 的工人,如医生同意可省去血液化验)。日本卫生、劳动和福利部已经建立系统,对福岛第一核电站工人的健康进行随访,以尽早发现疾病、确定辐射照射所造成的健康风险。卫生、劳动福利部告知东京电力公司,在 6 月 13 日后在现场工作累计暴露 $200\text{ mSv}$ 的工人是不可以继续工作的。

在检查工人是否有碘过敏症及以前是否有甲状腺疾病后,医生开处方药碘化钾(KI)给工人。这种药可以阻止甲状腺吸收放射性碘,也可预防由于内暴露引起的甲状腺癌。但服用 KI

会有患甲状腺功能减退症的风险,而且随着年龄的增加,对于 40 岁以上的人,KI 预防辐射引发甲状腺癌的能力十分有限。根据日本核安全委员会的规定,暴露剂量相当于为 $100\text{ mSv}$ 的工人,第一天应服用 $100\text{ mg KI}$ 和此后每当进行操作时服用 $50\text{ mg KI}$ ,连续服药疗程应当是 $14\text{ d}$ 。该准则还规定,只有暴露于高剂量辐射时,40 岁以上的工人才可服用 KI 片,而且这也需要经工人同意。

#### 热

为了防止中暑,实施了管理性、工程性控制措施和个人防护三方面措施。在管理控制方面,政府禁止东京电

力公司在 6 月 27 日至 8 月 31 日期间的 14:00~17:00 安排工人工作,因为这段时间发生中暑概率较高,于是工人工作时间变成了早晨至下午 14:00。现场工人允许工作几个班次,一个小时的工作加一个 40 min 的休息时间(包括检查放射性后脱去防护服、休息、再次工作前再穿上防护服的时间)。工作休息时间的比例超过 ACGIH 的 TLV 标准。这需要特别的工种管理,工作班次时间无法再缩短,因为工人需要花至少 1 h 的时间去开展工作,这还包括从工作现场到指挥台的来去时间。由于这种较长的工作班次,工作人员不得不每 30 min 检查自己的健康状



况,同样也要互相监视,以便尽早识别出现中暑迹象的同事。如果他们觉得不舒服,要提倡好好休息。在现场,来自日本各学校、医院和专长急诊医学的志愿者医生建立了急诊室,专门应对工人的中暑和工伤。一旦发生事故,医生立即作出反应。遇到严重的情况,配有防辐射装置的救护车或直升机直接将病人运到指定的二级或三级医院进行抢救。在每日 9:00 和 18:00 举行的会议上,高层管理人员向工人强调预防中暑和工伤的重要性。

工程控制方面,为方便工人休息,在作业现场附近安排了有空调的房间。在个人防护方面,工人穿一件背心,外面套着特卫强防护服,在 1 h 轮换前都必须喝 500 ml 口服补液盐,在 1 h 轮换后喝 200 ~ 500 ml 液体。因现场工作对工人的健康要求比较高,所以预先筛选适合做这项工作的工人是

十分必要的,特别要筛选出那些患有慢性疾病的人,因为他们对热十分敏感。据报告,3 ~ 10 月曾有 45 名工人因为有中暑的迹象咨询过医生,所有人都有轻度至中度中暑的症状,但是没有中暑死亡的个案。

#### 压力

职业卫生医师和护士为工人提供心理健康检查和咨询服务。日本的卫生、劳动和福利部还提供免费心理健康服务电话。然而,压力的一级预防,包括工人的住宿并不能适宜地得到改善。

#### 机器操作和人工处理工作

努力确保现场的安全工作是首要任务,这也需要精心计划和实施。从职业健康角度,筛选一个人能够胜任此项工作是十分必要的,特别要排除有癫痫发作史的人。

## 结 论

到冷停为止,福岛第一核电站的主要职业健康危害是辐射、热、压力、机器操作及人工处理。基于过去获得的积累证据和经验教训,即使在这非常规条件下,也都采取了各种措施来减少工人的风险。然而,由于恶劣的工作条件,压力管理方式,虽然职业健康专业人员已经认识到其重要性,但福岛第一核电站的退役要化 30 ~ 40 年,职业健康工作应该继续成为重中之重。

(原文出处:Koji K Wada,Toru T Yoshikawa,Takeshi T Hayashi,Yoshiharu Y Aizawa. Emergency response technical work at Fukushima Dai-ichi nuclear power plant: occupational health challenges posed by the nuclear disaster[J]. Occup Environ Med, 2012, 69 (8):599-602)

(收稿日期:2012-12-24; 修回日期:2012-01-16)