

附件

海洋生物或异物影响核电厂取水安全典型事件

一、法国 CRUAS 核电厂 4 号机组丧失冷源事件

事件描述：

2009 年 12 月 1 日 0:15，法国 CRUAS 核电厂 4 号机组被大量水草入侵。水草堵塞泵站的过滤系统，运行人员停运一台冷凝器循环水泵，平衡了重要厂用水系统和循环水系统之间的流量，清理拦污栅，并请求临近电厂提供额外的清理工具。此后操纵员降低机组功率 20%，之后由于汽轮机润滑油温度高手动脱扣汽轮机，汽轮机润滑油高温是由于常规岛生水系统/常规岛闭路冷却水系统（SEN/SRI）热交换器的污垢所致。此后机组热停堆 1%Pn。

19:04，丧失重要厂用水系统（SEC） A 列。运行人员使用丧失热阱的事故规程，切换至 B 列，并开始修复 A；19:30，依据规程手动停堆。19:37 丧失重要厂用水系统（SEC） B 列，运行人员使用没有诊断丧失全部热阱的程序，安全工程师对情况进行分析；21 时，安全工程师判断机组面临丧失全部热阱，因此机组进入中间冷停堆状态（余热排出系统没有接入，由蒸汽发生器冷却）；22 时，设备冷却水 A 列水温达到 45 度，按照事故规程，操纵员停运两台主泵，退出两列重要厂用水，使用换料水箱通过安全壳喷淋系统/设备冷却水

系统热交换器反向冷却作为设备冷却水的备用冷源，使机组进入安全状态；同时，运行人员成功清理取水口过滤设备和重要厂用水/设备冷却水热交换器；此后 5 小时，重要厂用水系统两列得到恢复，第二天 7 时结束事故规程。

事件原因：

此次事件发生的直接原因为电厂取水河流上游大坝放水，增加了河流流量，带来了大量加拿大伊乐藻（由 $5\text{m}^3/\text{month}$ 增长为 $50\text{m}^3/\text{month}$ ）。事件产生的安全方面的重要影响包括 4 号机组丧失全部热阱 5 个小时；1、2、3 号机组丧失部分重要厂用水系统。潜在安全影响方面为假设情况恶化，能够导致所有机组热阱丧失，在这种情况下，机组熔堆风险会增加。

纠正行动：

电厂清理了鼓形滤网，拦污栅，重要厂用水/设备冷却水热交换器等设备；考虑到重要厂用水泵在低水位运行后重启，对重要厂用水泵进行了再鉴定。

经验教训：

1.对机组状态进行有效的管理，必须能够快速和可靠地对状态和缓解措施进行判断；

2.改进事故规程，原有事故规程仅考虑热阱的突然丧失而没有考虑逐渐丧失的可能性；

3.区内的拦污栅清理设备不够充足，补充装备（移动清理设备，运输堵塞物的卡车等）是必要的；

4.利用换料水箱水的热惯性证明是有效的，它能阻止核岛设备的破坏。换料水箱所达到的温度信息是不可用的，这只是一个临时的措施，这种应用是被限制的并且受制于纵深防御的分析。

二、宁德核电厂 3 号机组海生物入侵导致停堆运行事件

事件描述：

2015 年 8 月 7 日 14:30，由于大量海生物涌到鼓网前，鼓网前后压差高，主控触发循环水过滤系统鼓网压差报警 3CFI910KA（ $CFI032TF \geq 0.8m$ ），循环水泵（3CRF002PO）自动跳闸，主控立即执行瞬态控制导则，进行降功率操作；8 月 7 日 14:46，3 号机组降功率至 660MW，现场对循环水过滤系统鼓网及排污口进行清理、检查，发现存在大量的半透明状软体海生物，后确认为“小型海地瓜”，现场立即启动应急打捞及冲洗；8 月 7 日 14:59，第一次尝试启动循环水泵（3CRF002PO），主控按 S 程序检查启动条件满足后，启动循环水泵（3CRF002PO），随后 3CFI 鼓网压差高 4 触发循环水泵（3CRF002PO）跳闸；8 月 7 日 15:28，为控制 ΔI ，向电网申请升功率至 800MW；8 月 7 日 16:22，第二次尝试启动循环水泵（3CRF002PO），3 分钟后循环水过滤系统 B 列鼓网压差再次达到高 4 触发循环水泵（3CRF002PO）跳闸；8 月 7 日 20:00，结合现场情况，运行人员临时解除两列循环水过滤系统压差高 4 信号，并制定循环水过滤系统压差高保护解除期间控制方案；此后经过清理海生物，8 月 8 日 00:06，第三次尝试启动循环水泵（3CRF002PO），因压差持续超过 0.8m，主控手动停运循环水泵

(3CRF002PO)。

8月8日01:49, 循环水过滤系统A列鼓网压差快速上涨, 出现压差高4信号, A列循环水泵(3CRF001PO)停运。由于两台循环水泵均停运, 触发汽轮机停机, 冷凝器真空快速变差, 同时叠加P10信号, 导致反应堆紧急停堆(C8+P10+冷凝器故障), 操纵员执行事故处理规程(SOP)控制机组。事件发生期间3号机组重要厂用水系统流量正常, 泵及电机运行正常, 电机电流正常, 重要厂用水系统海生物捕集器压差正常, 重要厂用水系统未出现堵塞情况。

事件原因:

大量海地瓜爆发性涌入宁德3号机取水口, 进入鼓网, 并聚集在鼓网内, 造成鼓网压差高引发循环水泵跳闸, 使得3号机组停机, 继而因高功率下凝汽器不可用而紧急停堆; 后续因辅助给水系统(8ASG)除气器故障, 造成辅助水箱失去补水反应堆被迫向余热排出系统冷却的正常冷停堆模式(NS/RRA)后撤。

冷源应急响应预案不完善(取水口拦污能力不足、海生物入侵造成鼓网压差高导致一台循环水泵跳闸后未能及时有效的降负荷控制机组、主动停堆)是本次事件紧急停堆的主要原因。

对双机组设计但单机组运行时的机组共用核安全辅助设施的可用性管理存在不足, 风险管理不到位是本次事件反应堆状态后撤的重要原因。

促成因素:

1.对海地瓜了解不足，取水海域水质指标和水文指标的连续在线监测能力不足（如浊度、叶绿素浓度、潮位等指标）；

2.环水过滤系统鼓网反冲洗排污渠走向设计与鼓网轴向进水的思路不一致。

事件实际后果：反应堆跳堆。

事件潜在后果：如果循环水泵未及时停运或鼓型滤网堵塞进一步加剧，可能影响重要厂用水系统安全运行。

纠正行动：

1.完善冷源应急响应预案并增加运行控制策略；

2.在取水隧洞（CB）取水明渠入口处布置两道临时沉底型细目渔网用于沉底型杂物或海生物的有效拦截；

3.优化现有取水口拦污设施，增加其对沉底型杂物或海生物的有效拦截；

4.修改管理程序，将影响两机组共用的核安全辅助设施可用性的缺陷提升到更高的级别对待，类似缺陷工单优先级别应至少定为3级，在计划里进行专门标识，作为重要工作来跟踪；

5.设宁德取水海域水质和水文在线监测系统，以提升对取水海域水质指标和水文指标的监测能力；

6.优化宁德循环水过滤系统鼓网冲洗水排水走向，将循环水过滤系统鼓网冲洗水排至排水口或者排水口（CC）井。

三、红沿河核电厂大量水母涌入循环水过滤系统（CFI）取水口导致 H1/2 号机组停堆运行事件

事件描述：

2014年7月21日，红沿河2号机组在满功率运行，由于大量水母涌入循环水过滤系统取水口，循环水过滤系统鼓网（H2CFI031/032TF）压差异常上涨，造成循环水泵（H2CRF001/002PO）先后跳泵，导致汽轮机跳机；03:42，反应堆自动停堆（C8+P10+冷凝器故障/不可用），操纵员执行事故处理规程（SOP）控制机组；4:02，1号机组因类似的过程和原因停堆；经过紧急安装临时拦污网和现场水母打捞，7月22日17:06，主控重新启动循环水泵（H1CRF002PO），运行稳定，表明造成机组鼓型滤网压差高的原因消除。

事件原因：

大量体型较小水母爆发性涌入循环水过滤系统取水口，通过细栅格后进入鼓型滤网，与其他细小生物连成膜状物，造成鼓型滤网压差高；同时红沿河一期工程取水口未设计拦污设施，且未能根据实际情况及时改进。

促进因素：

电厂对取水口堵塞问题虽有认识，但改进行动没能得到及时和有效落实；对于涉及有商务争议的工程遗留技术问题，在公司层面没有有效决策机制；冷源小组尚未有效运作；重要经验反馈未有效落实；对周边海域环境认知不足。

纠正行动：

- 1.推动设计公司完善一期工程取水口拦污设施设计和安装；
- 2.正式拦污设施安装之前，每年夏季来临前及时安装临时拦污

网，冬季来临前拆除；

3.梳理电厂安全生产管理周会及日常生产管理组（TEF）例会行动项并督促专业落实；

4.建立快速决策机制，具备及时统筹解决技术、商务问题的功能，解决工程遗留缺陷；

5.提高冷源小组运作层级，对标参考电站冷源小组运作模式，规范小组正常运作；

6.及时、有效落实外部运行经验报告（EOER）已定行动项，重新结合 WANO《重要运行经验报告》（SOER）建议评估外部运行经验报告（EOER）行动项是否全面并完善，补充临时方案；

7.建立与地方海洋局、大学、海洋研究机构联系渠道，获取电站周边海生物信息；

8.评估清污机打捞水母能力；

9.研究油污、泥沙淤积、船舶、其他漂浮物以及成群的小型海生物带来的取水口堵塞风险。

四、岭澳核电厂 2 号机组因海生物涌入取水口导致反应堆紧急停堆运行事件

事件描述：

2016 年 1 月 8 日 20:00，岭澳核电厂 1、2 号机组泵站监测到循环水过滤系统鼓网反冲洗水中毛虾数量较多，电厂立即启动冷源应急响应，根据冷源应急预案安排了 9 艘渔船在岭澳入水口实施海生物探测和打捞工作，在电站的泵站铺设了临时冲洗水带，并持续对

泵站系统设备及鼓网反冲洗水中的海生物进行监控。

2016年1月9日18:20, 循环水过滤系统鼓网(L2CFI032TF)压差高4信号导致循环水泵(L2CRF002PO)停运; 18:23, 循环水过滤系统鼓网(L2CFI031FI)压差高4信号导致循环水泵(L2CRF001PO)停运, 两台循环水泵停运导致凝汽器真空下降, 触发汽轮机停机, 同时叠加P10信号, 反应堆紧急停堆(C8+P10+凝汽器真空低), 操纵员执行停堆处理程序稳定机组; 2016年1月9日22:00, 机组状态满足运行技术规范要求后, 退出停堆处理程序, 事件结束。

事件发生后, 电厂启动应急干预响应, 确认是毛虾堵塞鼓网导致循环水泵停运, 进而导致机组停机停堆。电厂对毛虾进行打捞清理, 并分别于1月9日19:10及20:20启动两台循环水泵。整个事件期间, 重要厂用水系统(SEC)并没有受到影响。

事件原因:

大量海虾爆发性涌入岭澳核电厂2号机组取水口, 进入鼓形滤网, 并聚集在鼓形滤网内, 造成鼓形滤网压差高引发2台循环水泵跳闸, 使得2号机组停机继而因高功率下凝汽器不可用而紧急停堆; 同时冷源取水设计无法应对大量小型海生物突然涌入的工况, 岭澳核电厂取水口无应对小型海生物涌入的拦截装置, 虾群大规模爆发时无法对虾群进行实时有效地拦截。

促成因素: 电厂无海生物实时监测、预警装置, 无法对海生物突然爆发进行实时监测及预警; 电厂对海虾的活动习性了解掌握不

足，虽然在事件前已经采取了鼓网冲洗、水口海面探测和打捞措施，但并未取得效果，渔船监测及打捞的特点和方式无法实现取水口海域的全面和全时段覆盖。

纠正行动：

- 1.成进水渠固定小型海生物拦截装置的设计和安装；
- 2.固定拦截装置投运前，完成进水渠临时小型海生物拦截网的安装并投运；
- 3.在进水渠完成电驱赶装置的安装并开始试验性投运；
- 4.完成海生物固定监测装置最小系统安装并进行试验；
- 5.研究包括虾群在内的海生物的习性及其应对策略；
- 6.升版海生物打捞预案；
- 7.制定鼓网反冲洗能力提升的方案；
- 8.鼓网转速提升研究和控制逻辑优化；
- 9.制定冷源异常期间机组降功率运行及手动停机停堆的预案。

五、田湾核电厂海水取水口麦秸杆堵塞运行事件

事件描述：

2007年7月9日，位于高公岛乡的田湾核电厂海水取水口处出现大批麦秸杆，造成海水取水口被麦秆堵塞，导致取水的水头损失增大，供给汽轮机冷凝器的海水冷却水水量下降，海水循环水泵入口（消波池）液位降低。为减少循环冷却水的使用量，降低取水的水头损失，保证取水和用水重新达到平衡，两台机组各自切除了一台海水循环水泵，并将其余海水循环水泵转为低速运行。同时，由

于通过汽轮机凝汽器的海水冷却水流量下降，导致凝汽器真空下降，为保证凝汽器真空，2台机组降功率运行。

在海水取水口发现麦秸秆后，电厂立即组织人员对海水取水口麦秸秆进行打捞，对被麦秸秆堵塞的粗格栅进行清理，至7月10日17:00，从明渠打捞出上千立方的麦秸秆，明渠内海水表面恢复到正常状态；7月10日12:00左右，海水通道水头损失降低到正常水平，海水循环水泵入口（消波池）液位恢复正常，开始提升1、2号机组功率；7月11日07:40，1号机组重新提升功率至100%Nnom；7月11日15:00，2号机组重新提升功率至100%Nnom，至此1、2号机组重新恢复满功率稳定运行。

在整个事件过程中外海取水未丧失，给电厂2台机组供应安全厂用水的前池始终存在正常补水，电厂最终热阱没有受到威胁。但引起电厂2台机组降功率运行，造成了一定的经济损失。

事件原因：

海水取水口出现大量麦秸秆，超出了高公岛海水取水明渠的拦截和防护能力，引起海水取水头部堵塞，导致海水取水的水头损失增大，供给汽轮机凝汽器的海水冷却水水量下降，海水循环水泵入口（消波池）液位降低，为减少循环冷却水的使用量，降低取水的水头损失，保证取水和用水重新达到平衡，两台机组各自切除了一台海水循环水泵，并将其余海水循环水泵转为低速运行；同时，由于通过汽轮机凝汽器的海水冷却水流量下降，导致凝汽器真空下降，为保证凝汽器真空，2台机组降功率运行。

纠正行动：

1.提高海水明渠拦污的纵深防御能力，对海水引水明渠安装二级拦物网；

2.在夏季麦收季节，加强对海水取水口的巡视，建立巡视制度，保证及时发现海水取水口的异常情况。

六、秦山第二核电厂循环水系统鼓网（3CRF202TF）销子断裂，常规岛生水系统（3SEN）进气导致机组降功率运行事件

事件描述：

2011年6月20日，因钱塘江上游水库放水导致大量杂物垃圾堆积并进入取水口，同时由于循环水系统格栅除污机运行效果不佳，循环水鼓网附着大量水草杂物，鼓网内外水位差过大，以及疲劳损伤的累积，导致鼓网销子断裂停止转动，海水流量下降；因常规岛生水系统（SEN）进气（由循环水泵出口取水），常规岛闭式循环冷却水系统（SRI）温度快速上涨，3号机组被迫从660MWe降功率到350MWe，停运循环水B泵进行检修处理。在鼓网故障修复后，因进水口杂物堆积依然严重，常规岛生水系统（SEN）再次进气，机组无法维持满功率运行，到6月24日海水杂物影响已经较小，3号机组恢复满功率运行。

事件原因：

特殊天气条件下钱塘江上游水库泄洪导致海水中飘浮的杂物过多，水草杂物堵塞导致循环水流通不足、循环水泵入口吸气；疲劳损伤和循环水系统鼓网内外水位差过高导致鼓网销子断裂；取水头

部存在导致海水中杂物堵塞入口的可能，格栅除污机运行性能不佳。

事件后果：机组降功率运行。

纠正行动：

- 1.修复鼓网销子，恢复鼓网运行；
- 2.派遣渔船对取水口水面漂浮的水藻、木棍等物项进行清理；
- 3.大修期间对取水口拦污栅附着物进行清理；
- 4.增加对取水口拦污栅的定期监测和清理(反馈到1、2号机组)；
- 5.扩建机组格栅除污机改造。