

# 浅谈核电厂纠正行动计划的有效性评价

李波

(中核核电运行管理有限公司, 嘉兴 314300)

**摘要:** 运行经验的应用是经验反馈流程的终极目标, 这包括对事件原因进行正确分析、制定对应的纠正行动并确保其得到有效执行, 因此需定期进行纠正行动计划的有效性评价工作。描述了核电厂进行纠正行动计划有效性评价的方法和实践。该有效性评价方法基于纠正行动计划的开发质量要素, 通过建立评价准则, 对纠正行动计划开发的有效性和纠正行动执行的有效性两方面进行评价。2015年中核运行三厂全年的评价结果表明核电厂纠正行动计划开发质量总体良好。该评价方法和实践可以作为开展核电厂纠正行动计划有效性评价的技术基础, 还对核电厂开展有效性评价工作进行了总结和分析, 并提出了该工作的改进方向, 为后续有效性评价工作的持续优化提供了参考。

**关键词:** 纠正行动计划; 有效性; 评价

中图分类号: TM623

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2017)01-0138-05

## Analysis on the Effectiveness Evaluation of Corrective Action Plan for NPP

LI Bo

(CNNC Nuclear Power Operations Management Co., Ltd., Jiaxing 314300, China)

**Abstract:** The utilization of Operating Experience(OE) is the final objective of the integrated OE process, including both correct event cause analysis and effective corrective action determination as well as its implementation. This article proposed the method and practice of the NPP CAP effectiveness evaluation. The method is based on the quality elements of CAP development which could be used as the technical basis for NPP CAP effectiveness evaluation. The evaluation results in 2015 have shown that the overall quality is acceptable. Meanwhile, the article also summarize and analyze the practice of the CAP effectiveness review activity in TQNPP. Based on the analysis, improvement directions are concluded which can be used as the reference for continuous optimization of CAP effectiveness review.

**Key words:** corrective action plan; effectiveness; review

核电厂通过对厂内外的各种偏差、异常或事件进行分析、评价并制定相应的纠正行动, 以便充分利用相关经验信息, 并有效用于改进核电厂工作的各个方面, 避免事件的重发及提升人员绩效, 从而提高核电厂的安全可靠性。

核电厂通常采用状态报告制度对各种偏差、异常或事件进行闭环的报告、分析、评价和纠正的管理。纠正行动计划有效性不足曾导致核电厂发生了一些本可以避免的停机停堆和重要重复事件的发生, 为了确保状态报告开发(本文统称为纠正行动

计划)的有效性, 纠正行动实施的有效性, 需定期进行有效性评价, 以确保电站的改进得到一个闭环控制。概括的说, 开展纠正行动计划有效性评价的主要意义有:

- 1) 对纠正行动计划的开发质量和纠正行动的执行情况和效果进行监督。
- 2) 识别出有效性不足的纠正行动计划, 重新开发或修改, 从而真正解决问题。
- 3) 预测电厂潜在的问题(任何行动都有其失效模式)。
- 4) 培养对于核电厂安全文化和管理理念的认同以及形成高质量纠正行动计划的共识。

中核运行三厂 2015 年 7 月开始进行纠正行动计划开发有效性评价工作, 本文对该项工作进行了

收稿日期: 2016-05-13

作者简介: 李波(1983), 男, 湖北武汉人, 工程师, 学士, 主要从事核电厂运行经验反馈管理工作(e-mail)lbo01@cnnp.com.cn。

总结和分析，并对比行业的高标准的业绩目标，提出了一些改进方向。

## 1 纠正行动计划的开发

在核电厂，一个典型的纠正行动计划的开发过程如图 1 所示：

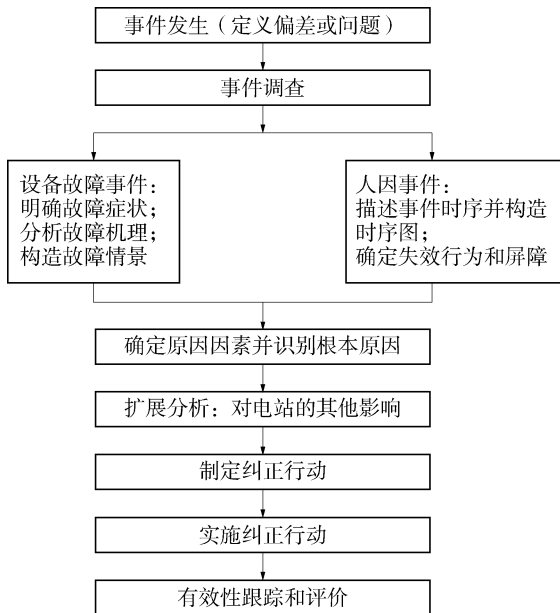


图 1 纠正行动计划开发过程

Fig. 1 Processing flow of corrective action plan

其主要步骤简要说明如下：

### 1.1 事件调查

主要包括信息收集和人员访谈。主要是在事发后最短时间内尽可能收集证据及有助于原因分析工作的相关资料，及访谈当事人观察到的事件状态的演变过程等。

### 1.2 原因分析

通过各种分析方法，包括：屏障分析法、变化分析法、任务分析法、故障树分析法和原因因素图法等，确定各失效环节的原因，并判断事件发生的促成原因、直接原因和根本原因。

### 1.3 制定纠正行动

针对发生问题的根本原因及促成因素，制定纠正行动，防止问题重复发生。纠正行动的制定原则主要包括：

#### 1.3.1 消除根本原因，防止事件重发

防止事件重复发生的纠正行动必需解决根本原因。采取透明开放的态度才能有效识别事件的根本

原因，从而制定出合适的纠正行动。管理、设计和人员绩效的失效方面的根本原因并不总能得到识别，需特别关注并作深度分析。

#### 1.3.2 纠正行动制定要合理、保守

选择最有效的行动。在确保根本原因得到解决的前提下，选择最易得到改正的纠正行动，以便尽快实施并能产生效果。通常最有效的纠正行动是建立简单而自然的屏障，因为复杂的屏障有可能引入新的无法预见的失误产生机理。而且建立的屏障最好是易于被触发的，避免因人员走捷径的本性而绕过此屏障，或者说需要人员较多的知识与经验才能想起应用此道屏障的。另外，当现有的屏障仍薄弱的情况下去建立新的屏障效果一般不太好。

纠正行动应满足 SMART 原则，即有针对性的（针对事件根本原因、行动内容具体）、可检查和度量的（具有可检查性、可量化和可获取明确的数据作为评价有效性的依据）、可实现的、现实的（所花的代价合理、与核电厂的实际情况是相符合的）和及时的（时间制定及优先级安排合理）。

选择纠正行动时也应使用运行经验，掌握行业中或电站以前处理类似问题的方式，比较各种行动有效性的效果，并帮助确定是否事件及行动所有的因素均得到考虑。

应避免制定重复性纠正行动带来的管理负担问题，比如人因事件有要很多共性的因素，制定人因事件的纠正行动时，如对单一的人因事件均采用纠正行动，制定重复的多项纠正行动，一方面浪费管理资源，另一方面会导致走形式，合理的是对其共性因素制定整体性纠正措施。

制定纠正行动时还应采取保守决策，包括对选择的纠正行动在实施过程中可能引起的意外问题制定应急预案和缓解措施。对不必要的会降低安全冗余的纠正行动进行识别并加以避免。在核电厂，纠正行动的制定中采取保守决策的最基本要求，就是要保证反应性控制、堆芯冷却、实体屏障的完整性以及安全支持系统的可用性。

采取纠正行动时，还要考虑针对事件的拓展分析（共因分析、重复事件分析等）发现的问题也制定纠正行动。

### 1.4 实施纠正行动和有效性评价

执行纠正行动时，首先是采取立即行动和临时性行动将机组从事件状态恢复至稳定状态并修复缺

陷。确定纠正行动的优先级，应考虑其安全重要性、系统降级的程度、部件功能的丧失程度和安全裕度。纠正行动的实施中，特别要关注实施的时效性。在事件调查分析中，就应该对明确的并具备实施条件的行动尽快实施。

为提高核电厂事件类纠正行动的完成质量及其有效性，部分核电厂制定了纠正行动分级分类管理及考核指标和有效性评估方法，这在一定程度上使纠正行动的完成、验证、审查及评价更加规范合理。纠正行动分类分级管理使核电厂将管理资源趋向于管理重要纠正行动的审查制定与执行有效性上，而实现向避免类似事件重发等方面转移。

评价纠正行动的有效性，需识别和跟踪受纠正行动实施影响的项目，如评估受影响的文件(文件现在是否合适)、访谈受影响的人员(确认其相关的知识技能是否得到改善。受访人员个人对于此纠正行动有效性的看法)、受影响的培训项目(评估新的要求是否已纳入到培训中去)等等。

现场的观察也有助于评估纠正行动的实施有效性。通过现场观察人员的工作活动，看看纠正行动的效果是否体现到了人员工作实践上。

当事件重复发生时，则应立即对之前类似事件发生后所采取的纠正行动的有效性进行评估，确定这些行动为什么没能预防事件的重发，必要时，对纠正行动进行调整或采取补充措施。

## 2 纠正行动计划有效性评价实践

中核运行三厂自2015年7月开始开展纠正行动计划有效性评价工作，对2015年1月至6月的部分抽样的纠正行动计划进行了有效性评价工作，之后每月定期进行此工作。

### 2.1 选取样本

样本选取要满足以下两个条件：

一是根据样本事件定义随机选取样本事件，即每周二、五的三厂状态报告小组会根据以下定义从状态报告中定义样本事件(样本事件定义：产生了异常后果的活动或有潜在重大后果的异常状态)。

二是根据各处室样本数量最低限额选取样本。每月从各开发处室选取的样本，除了满足样本事件定义外，还需满足数量最低限额。如果按照样本事件定义选取的样本数量不能满足最低限额，就需要从C类状态报告中选取样本以满足最低限额。各处

室每月最低样本数量限额如下：维修五处5份，技术三处5份，运行五处5份，燃料操作处4份及保健物理三处3份。每月的评价总数最低在30份左右。

### 2.2 建立评价方法和标准

有效性评价分为状态报告开发质量和纠正行动执行情况两部分内容。

#### 2.2.1 纠正行动计划开发质量评价标准

- 1)原因清晰明确，与现象有正确的因果逻辑关系。
- 2)原因分析过程证据充分、条理清晰、符合逻辑。
- 3)纠正行动针对原因，能有效纠正。
- 4)纠正行动符合SMART准则。
- 5)C类纠正行动计划分析事件直接原因。
- 6)B类事件报告分析直接原因和根本原因。
- 7)评价结果：满足、部分满足、不满足。

#### 2.2.2 纠正行动执行情况评价标准

- 1)纠正行动完成情况说明充分，有明确结果，且与纠正行动内容相符。
- 2)纠正行动及时完成。
- 3)评价结果：满足、部分满足、不满足。

#### 2.2.3 有效性总体评价准则

1)当纠正行动计划开发质量评价和纠正行动执行情况评价均为“满足”时，总体评价结果为“有效”。

2)当纠正行动计划开发质量评价和纠正行动执行情况评价有一方或双方为“部分满足”时，总体评价结果为“部分有效”。

3)当纠正行动计划开发质量评价为“不满足”时，总体评价结果为“无效”。

4)当纠正行动执行情况评价为“不满足”时，总体评价结果为“无效”。

5)某些事件，原因一时无法查明，但制定了纠正行动以查明原因。这样的纠正行动计划开发质量评价为“部分满足”。当纠正行动执行完毕，查明了原因并已针对原因采取了纠正行动且有结果时，纠正行动计划有效性总体评价为“有效”；如果没有结果，则评价为“无效”。

6)评价结果：满足、部分满足、不满足。

7)另外，对于开发质量优秀的案例，也会单独标记为优秀。

## 2.3 评价实践

具体来说,经验反馈工程师会针对随机选择的样本进行初步的分析评价,期间遇到有疑问的地方也会与纠正行动计划的开发人员及相关管理、技术人员进行沟通。初步分析评价的结果也会发给纠正行动计划开发的责任部门进行确认和反馈,然后到三厂状态报告例会上对无效和部分有效的纠正行动计划进行逐一审查并形成最终的结果。各个环节进行沟通和讨论的过程也是一个在三厂范围内形成对如何有效开发纠正行动计划的共同认识和宣贯核电厂安全文化和管理理念的一个实践过程。对于最终评价为无效或者部分有效的纠正行动计划,经验反馈工程师会触发对其进行重新开发或修改。对于评价为优秀的纠正行动计划,也会通过邮件发给三厂人员进行学习。下面简要摘取评价为无效和优秀的案例各一份:

### 2.3.1 优秀案例 CR 201323059“1-7141-SP-T301 因流量开关动作而进入 TS 限制”

评价理由:报告首先介绍了雨淋阀的结构和作用等背景技术信息,然后用故障树法逐一分析了导致雨淋阀流量开关报警的六种可能原因,排除其它原因后,最后将本次故障的原因定位在密封垫片的质量。为了保证纠正行动确实有效,对国产垫片的使用情况进行了长达两年的跟踪观察,直到确认垫片能满足使用要求为止才关闭行动。表明了开发者暨行动执行者严谨求实的态度。

### 2.3.2 无效案例 CR 201500868“前池淤泥冲洗相关继电器近期故障较多”

原纠正行动计划开发摘要如下:

1)原因分析:继电器为施耐德老型号,且使用寿命长,使用环境差,造成缺陷率上升。

2)纠正行动:拟根据继电器的缺陷情况和系统盘台的使用情况,提出合适数量的继电器采购申请。(2015年2月生成,计划2015年10月完成)。

评价理由:原因分析过于简单。故障继电器使用了多长时间?寿命多长?使用环境多差?缺陷率数据以前是多少?现在是多少?具体是哪方面的环境因素导致缺陷率升高以及是什么机理导致缺陷发生几率升高的?纠正行动中是否有明确合适的采购数量到底是多少?该故障继电器以后的维修策略和预防性维修管理项目的合理性没有进行评价,如果不合理,也该有针对性的采取纠正措施?以上疑问都

没有说明。另外,提出一个设备的采购申请需要10个月的时间来完成,也存在不合理性。

## 2.4 评价结论

2015年全年对中核运行三厂231份纠正行动计划进行了有效性评价,其中172份为有效,有效率达74%(见图2),总体上的开发质量还是较好的,大部分都能满足要求。其中,2015年7月份开展有效性评价后,有效率呈上升趋势,2015年10月份以后每月的有效率都高于80%(2016年一季度的指标也都高于80%),有效率趋势图如图2所示。

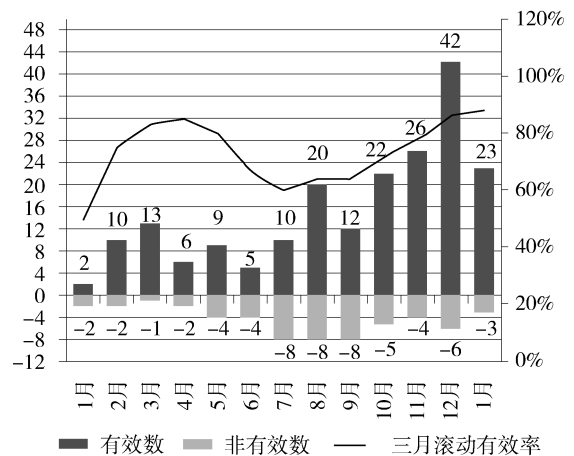


图2 核电厂2015年纠正行动计划有效率趋势图

Fig. 2 Corrective action plan effectiveness tendency of NPP in 2015

## 2.5 改进方向

### 2.5.1 对重要纠正行动开展基于绩效的有效性评价

当前,对纠正行动计划中纠正行动的有效性评价仅限于是否与原因对应以及是否按照纠正行动的内容得以正确执行的层面。随着纠正行动计划有效性评价工作的深入,需进一步提高标准,特别是对于一些重要的行动,要从是否真正解决了问题以及改善了现场工作绩效的角度来评价其有效性。此外,任何纠正行动都有失效模式,因此对于特别重要的纠正行动应定期进行有效性评价。中核运行三厂目前还未实现纠正行动的分级管理机制,但可以从A、B类以及重要的重复事件中针对根本原因制定的纠正行动开始尝试从绩效角度来评价其有效性。根据行动内容特性的不同,选择采取包括:经验反馈数据库中的相关信息收集、管理观察和指导的结果与趋势、人员访谈、自我评估、现场巡检观

察、文件审查、外部评估结论等评价手段,重点关注纠正行动实施后是否有重复缺陷出现或缺陷的趋势变化是否有改变、行动的实施是否引发新的或其它的问题等。

### 2.5.2 对于重要外部经验反馈的纠正行动计划开发的有效性评价

由于重水堆技术存在较多的共性问题,因此来自重水堆业主联合会(COG)的运行经验反馈信息对于中核运行三厂来说有着非常重要的价值。比如,2008年5月 Pickering A 核电厂1号机组装卸料机曾发生过L杆蜗轮与BELL齿轮连接的6个连接螺栓断裂的故障,导致机组停堆59天。由于对该外部经验反馈的分析评价不到位,只是简单采取了培训的行动,从而导致2011年1号机组因装卸料机故障而停堆检修。中核运行三厂还曾因对COG有关同样的仪表管线的外部经验反馈的纠正行动计划开发有效不足,没有具体落实如何实施预防性维修工作,从而导致在2013年1月19日和3月2日,中核运行三厂1号机组因为破损燃料定位系统的仪表管线泄漏进行两次计划小修工作。还有其它情况,比如端屏蔽冷却系统堆腔覆盖气体氢气浓度异常升高等问题,这些都是在对已经获取了COG其它核电厂类似的经验反馈的情况下,由于未能有效开发纠正行动计划而给电厂造成了安全和经济上的损失的案例。IAEA的分析报告也曾指出一个普遍存在的现象,即在评价外部经验反馈的适用性时存在一种寻找各种支持其不适用于本电厂的依据的倾向。中核运行三厂对于重要COG经验反馈采取实际的纠正行动的比例一直低于加拿大本土的CANDU核电厂和罗马尼

亚Cernavoda核电厂,后续启动对重要外部经验反馈类(比如COG经验反馈小组定义的重要事件)的纠正行动计划有效性评价工作,并持续优化对核电厂还是很有实际意义。

## 3 结论

通过2015年以来开展的中核运行三厂纠正行动计划有效性评价工作,总体上的开发质量还是较好的,大部分都能满足要求。开展此项工作的意义不仅仅是监督经验反馈的实效、对一些质量不符合要求的纠正行动计划的重新开发以解决问题,更重要的是促进核电厂员工对于核电厂安全文化和管理理念及工作的认同,并形成开发高质量纠正行动计划的共识。对于有效性评价工作本身,由于实践经验不足,也有相当的改进空间。本文论述的改进方向建议也可以作为后续开展有效性评价优化工作的基础。

### 参考文献:

- [1] International Atomic Energy Agency. Effective corrective actions to enhance operational safety of nuclear installations; IAEA-TECDOC -1458 [S/OL]. Vienna; International Atomic Energy Agency, 2005. [http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te\\_1458\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1458_web.pdf).
- [2] International Atomic Energy Agency. Best practices in the organization, management and conduct of an effective investigation of events at nuclear power plants; IAEA-TECDOC-1600 [S/OL]. Vienna, Austria; International Atomic Energy Agency, 2008. [http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te\\_1600\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1600_web.pdf).

(责任编辑 郑文棠)

(上接第118页 Continued from Page 118)

- [6] HOO FATT M S, PARK K S. Perforation of honeycomb sandwich plates by projectiles [J]. Composites: Part A, 2000, 31(8): 889-899.
- [7] HANSEEN AG, GIRARD Y, OLOVSSON L, et al. A numerical model for bird strike of aluminium foam-based sandwich panels [J]. International Journal of Impact Engineering, 2006, 32(7): 1127-1144.
- [8] MEO M, VIGNJEVIC R, MARENGO G. The response of ho-

neycomb sandwich panels under low-velocity impact loading [J]. International Journal of Mechanical Sciences, 2005, 47(9): 1301-1325.

- [9] GURUPRASAD S, MHKHERJEE A. Layered sacrificial claddings under blast loading, Part I: analytical studies [J]. International Journal of Impact Engineering, 2000, 24(9): 957-973.

(责任编辑 郑文棠)