

核电厂营运单位应急响应能力评估软件平台

张立国, 曲静原, 童节娟, 刘涛, 赵军

清华大学核能与新能源技术研究院, 北京 100084

摘要 核电厂营运单位的应急响应能力是核电厂安全运营的重要保障。在核事故中,核电厂营运单位成功实施应急响应是缓解事故进程、控制事故后果,保护人类健康和环境安全的关键途径。因此,核电厂营运单位应急响应能力建设能否支持其成功应对核事故,已成为业界关注的重点。本文在核电厂营运单位应急响应能力评估方法的基础上,研发了核电厂营运单位应急响应能力评估软件平台,用于辅助核电厂营运单位应急响应能力评估方法的推广应用。结合已经形成的应急响应能力评估准则,分析了应急响应能力评估方法运用中的需求、提出的软件功能共含有7项,包括用户管理、性能指标的计算与数据维护、检查发现的资料管理与评价结果呈现、内部管理流程、综合评价、电厂管理、评估准则和关注点管理,并介绍了功能的软件实现。

关键词 核应急;应急响应能力评估;反应堆监管程序;核电厂

中图分类号 TL7

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.04.017

A software platform for evaluating the capability of nuclear power plants' response to nuclear emergency

ZHANG Liguo, QU Jingyuan, TONG Jiejuan, LIU Tao, ZHAO Jun

Institute of Nuclear and New Energy Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China

Abstract Adequate emergency response to nuclear accident in nuclear power plant is a critical way to ensure the safety of human health and environment. Therefore, it is all along one of the key questions for the industry that what means the capability of a licensee of NPP that is good enough for a victorious response to an accident. The paper will introduce the research and development of a software platform to help evaluate the capability of NPP's response to nuclear accident using the philosophy and method proposed by the team in charge of developing the mechanism to evaluate licensee's capability of emergency preparedness and response. The functions required by the evaluation software platform are described, including user administration, performance indicator calculation, data maintenance, administration of inspection findings resources, representation of evaluation results, internal management, comprehensive assess, maintenance of information on NPPs, maintenance of evaluation criteria and so on. How these functions are implemented in software engineering is also presented.

Keywords nuclear emergency; evaluation on capability for emergency response; reactor oversight process; nuclear power plants

作为纵深防御理念的重要组成部分和核安全保障层次中的最后一个层次,核电厂应急响应是核安全的重要内容,一直备受关注。2011年福岛核事故的发生,使人们又一次认识到了核电厂应急响应能力对于缓解事故后果,保障公众与

环境安全的重要性,同时警醒业界重新审视核电厂应急响应能力的现状,研究核电厂应急响应能力评价的方法,以更好维持核电厂对核事故的应急响应能力^[1-3]。但核电厂应急响应能力评价的研究涉及多领域、多学科、多层次,具有非常高

收稿日期:2014-08-20;修回日期:2014-12-27

基金项目:国家能源应用技术研究及工程示范项目(NY20120202)

作者简介:张立国,工程师,研究方向为核应急和核事故后果评价,电子邮箱:lgzhang@tsinghua.edu.cn

引用格式:张立国,曲静原,童节娟,等.核电厂营运单位应急响应能力评估软件平台[J].科技导报,2015,33(4):97-103.

的复杂度,面临着巨大的挑战。因此,各机构推荐的方法也基本是定性的,较多依赖于专家判断,且不具有追溯性,难于进入细节^[4-7]。

美国核管会(United States nuclear regulation commission, US NRC)联合核能研究所(nuclear energy institute, NEI)于20世纪末至21世纪初的10多年中开发了反应堆监管程序(reactor oversight process, ROP),重构了美国核电厂的监管理念及方法,使其从传统模式转向风险指引模式。

应急响应能力作为ROP提出的七大“安全基石”(safety cornerstone)之一,成为重要的监管内容^[8,9]。ROP提出了两个评价体系,一是可量化的性能指标(performance indicator, PI)评价体系,二是定性的检查发现(inspection finding, IF)评价体系,其所共同构成的评价方法使得核电厂营运单位的应急响应能力评估具有了更强的历史回溯性、预见性、互动性和公开性^[10-18]。该方法也成为评价核电厂营运单位应急响应能力的重要参考。

2012年,国家能源局启动了国家能源应用技术研究及工程示范项目“严重事故预防与缓解措施的研究与试验验证”,其中包括“核应急体系应急响应能力评估方法研究”课题,针对中国核电厂应急响应能力评估方法进行研究。经过近两年的工作,本课题组参考前述介绍的美国ROP中对应急准备(emergency preparedness, EP)“安全基石”结合中国业已提出的核应急相关的法律法规,提出了核电厂营运单位应急响应能力评估方法(以下简称:评估方法)^[19-24]。为促进和推动该方法的推广使用,本课题组配套开发了核电厂营运单位应急响应能力评估软件平台(以下简称:软件平台)^[25]。本文介绍该软件平台的功能及其实现方法,并说明其在核电厂营运单位应急响应能力评估方法使用中发挥的作用。

1 软件功能分析

1.1 核电厂营运单位应急响应能力评估方法

核电厂营运单位的应急响应能力评估方法参考美国ROP监管框架中的应急准备安全基石建立,评价方法包括性能指标(PI)和检查发现(IF)两套评价体系(图1)。前者为定

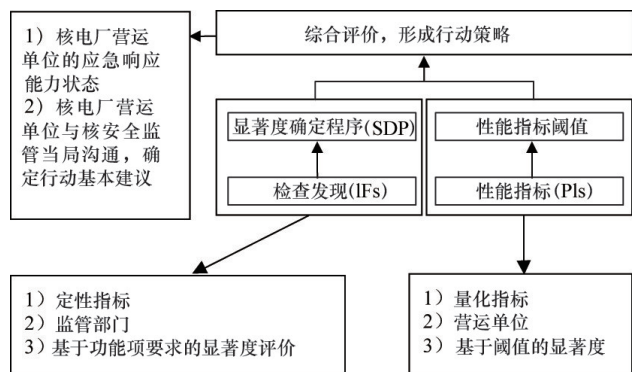


图1 评估方法体系框架

Fig. 1 Schematic of evaluation system

量指标体系,共3项7个性能指标;后者为定性评价体系,根据法规与导则的要求将应急响应能力划分为14个基本功能类,并在此基础上进一步划分出了30个计划标准功能项(planning standard, PS)和8个风险显著的计划标准功能项(risk significant planning standard, RSPS)。

PI评价出的定量指标数据,经过阈值划分形成不同的显著度,IF的评价也将监管检查中发现的问题经过显著度评价程序确定其显著度级别。2个评价体系基于最终的显著度级别,可以形成综合的评价结论,以指导核安全监管当局和核电厂营运单位的响应。显著度级别依据其对核安全目标达成的影响的程度由高到低依次表示为红、黄、白和绿。

评估方法体系依次划分了应急响应能力评估的职责,PI评价以核电厂营运单位为责任主体,IF评价以核安全监管当局为责任主体,两方面的评价结果共同形成综合评价结果。综合评价结果指导监管当局与核电厂之间的沟通层次、双方的响应级别与响应内容。

PI评价的内容为PI数据收集、指标计算和数据验证,以数据统计规则、指标计算方法和阈值定义为依据。IF评价以评价方法确定的评估准则和关注点为依据。关于评估方法的更为详细的描述可参见文献[24]、[25]。而核电厂营运单位应急响应能力评估软件平台研发的主要目的就是辅助上述评估方法的使用。

1.2 核电厂营运单位应急响应能力评估软件平台功能

核电厂营运单位应急响应能力评估软件平台为辅助核电厂营运单位应急响应能力评估方法的使用,需实现评价数据的维护、评价过程的引导与协助、评价结果的呈现与历史回溯等功能,并期待该软件平台有助于:

- 1) 记录和收集可用于评价核电厂营运单位应急能力评估的数据和信息作为应急能力的证明;
- 2) 为利用1)中所述证据对性能指标和检查发现进行评价提供评价流程支持,法规导则及评估准则要求支持和参考案例支持等;
- 3) 记录并呈现性能指标和检查发现评价结果;
- 4) 便于监管当局、行业或者核电业主能够对核电厂的应急能力做出判断和了解,确定适当水平的后续监管策略或者执法行为。

为实现这些目标,软件平台应具有的基本功能包括:用户管理,性能指标的计算及结果呈现,检查发现显著度评价及结果呈现,内部管理流程,综合评价,电厂管理,评估准则和关注点维护。

2 软件平台的功能定义及实现

2.1 用户管理

软件平台提供用户管理功能完成用户的增、删、修和查,同时软件平台提供管理模块为用户赋予角色和权限。

1) 用户角色。核电厂营运单位应急响应能力评估方法包括2个指标体系,即性能指标(performance indicators, PI)体

系和检查发现(inspection findings, IF)体系。核电厂营运单位应急响应能力评估方法同时建议评估软件具备向公众发布核电厂应急响应能力评估的结果。

基于性能指标体系的评价以电厂自我评价为主;基于检查发现体系的评价以监管部门为主。因此,用户角色分为3类:公众、电厂工作人员和监管人员。根据中国监管体系的

设置情况,监管人员分成3类:驻场监督员、区域监督员/巡视员和国家级监管机构监督员。

2) 用户层次。3类用户中的电厂工作人员和监管人员由于其各自所属的机构及职权范围,形成如图2所示的用户层级。软件平台用户的使用权限和功能需求依据该层级关系确定。

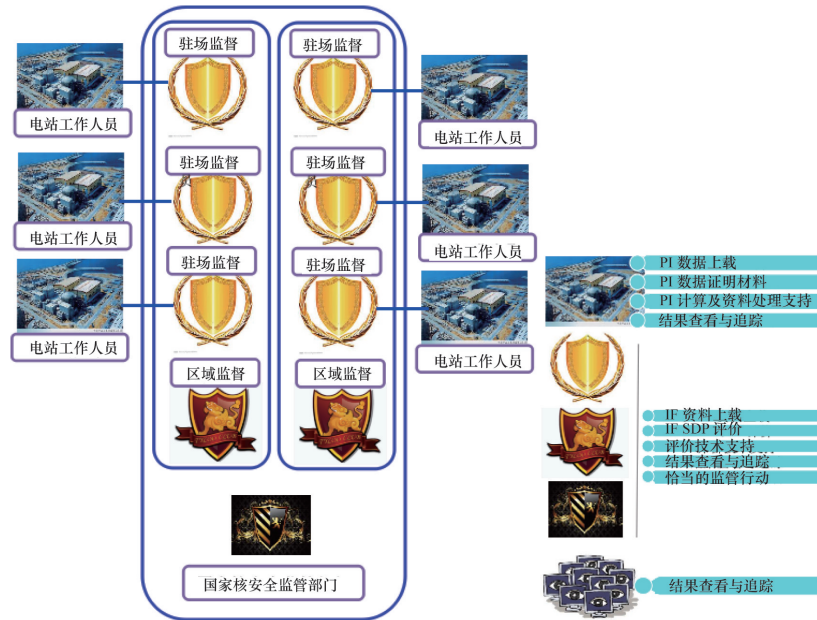


图2 用户层级结构及用户功能需求

Fig. 2 User hierarchy and related function requirements

3) 用户权限。性能指标评价由核电厂营运单位负责,并将相应数据提交给核安全监管部,作为其进行评价和监查活动的基础数据。因此电厂人员可完成其所在电站的PI数据编辑、审核和批准。核安全监管部要对营运单位提交的性能指标计算数据的准确性和完整性进行检查和确认。

检查发现评价由核安全监管部负责,根据监管人员在核安全监管部中所处的层级的差异及与之相应的职责划分,监管人员可以对其职责范围内的电厂进行评价,提交检查发现及其评价,并进行审核、批准等。

2.2 性能指标的计算与数据维护

软件平台的性能指标计算与数据维护功能是其核心功能之一,包括3方面的内容:PI数据维护,PI数据上传和PI评

价结果呈现。每项内容又可分解为子项。

1) PI数据的维护。

(1) PI数据记录属性。软件平台的PI数据维护有赖于PI数据记录属性定义,这实际上是数据库中响应的数据字段属性定义。按照评估方法,共3个PI项,分别为EP01-演习、练习和实际事件响应成绩指标、EP02-演习、练习和实际时间参与度指标和EP03-应急设备与设施维护状况指标。软件平台分析后为每项性能指标定义了记录属性,包括时间属性(如创建时间)、数据属性(如关键岗位人数)和管理属性(如编写、审核和批准)等。

(2) PI数据记录管理。PI记录管理为用户按照权限提供了增删改查和排序等管理功能。PI记录管理界面样例见图3。

Table with columns: 电站, 事件时间, 事件类别, 成功/分钟, 成功/通报, 成功/建设, 文件数, 评论数, 提交者, 发布者, 发布时间, 创建时间. Includes data for Haoyang Nuclear Station events.

修改 删除 添加 关闭

图3 PI数据记录维护界面

Fig. 3 Maintenance interface for PIs data record

2) PI数据的上传。

(1) PI数据统计内容。依据评估方法,软件平台为表1

中的数据内容提供输入接口,这些数据同样是PI数据记录的重要内容。

表1 性能指标统计数据内容

Table 1 Data required for performance indicator evaluation

性能指标	数据项
EP01	1) 上季度中的练习、演习以及实际事件机会的次数; 2) 上季度中及时和准确完成的练习、演习以及实际事件机会的次数
EP02	1) 关键岗位ERO成员人数和所有关键岗位人员总人数; 2) 在过去8个季度中已经参与练习、演习或实际事件的关键岗位ERO成员的人数和所有关键岗位ERO成员总人数
EP03	1) 上季度ANS报警测试的总次数; 2) 上季度ANS报警测试的成功次数

(2) PI数据统计规则。评估方法中对性能指标数据规定了数据统计规则和计算方法。在性能指标数据添加和修改过程中,应将这些规则呈现给用户,便于提高数据质量。这些数据统计规则与说明以报告的形式呈现在界面上。

3) PI评价结果的呈现。

软件平台能够根据不同层次呈现性能指标评价结果。性能指标评价数据按季度统计,软件应根据性能指标统计周期显示性能指标数据。按需要,用户可以选择回溯数据。性能指标数据评价结果呈现层次分电厂、区域和全国。

(1) 单个电厂。软件平台将呈现电厂近8个季度的数据(图4),可以看出核电厂PI指标的变化,并支持数据的回溯。图4非常直观地展示了PI指标曲线和各点所处的显著度级别区域。点击任何数据点软件平台将显示更为详实的数据。

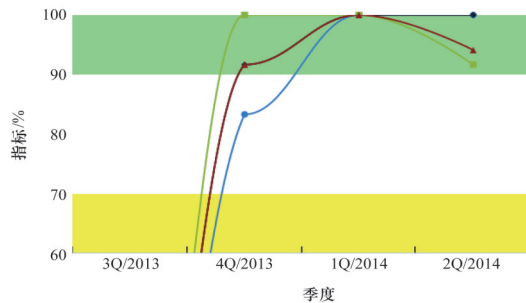


图4 电厂PI性能指标曲线

Fig. 4 Curve of performance indicator index

(2) 区域范围。对于监管区域,软件平台应显示如图5所示的统计数据,数据统计分电厂和指标进行。统计数据能

华东监管站 练习、演习和实际事件响应成绩 指标

电站	Q1/2013	Q2/2013	Q3/2013	Q4/2013	Q1/2014	Q2/2014	Q3/2014	Q4/2014
泰山二期核电站								
方家山核电站								
泰山核电站					08-11 演习	08-08 实际事件		
田湾核电站					08-12 练习			
宁溧核电站								
福清核电站								
三门核电站								

图5 最近8个季度区域性能指标统计(示例)

Fig. 5 Statistics of performance indicator in the last eight quarters (an example)

反映区域监管整体水平和区域内电厂营运单位的应急响应能力状态。软件平台统计监管区内各电厂过去8个季度检查发现的情况。图中颜色对应显著度级别。

(3) 全国范围。为反映全国范围内各监管区域和指标的状况,软件平台同样统计了各监管区域和指标,具体情况与图5类似。

2.3 检查发现的资料管理与评价结果呈现

IF资料管理与评价结果呈现也是软件平台的核心功能,包括以下5项内容,每项内容又包含若干子项。

1) IF显著度评价流程引导。评估方法中推荐的显著度评价流程引导用户完成IF的显著度评价。显著度评价流程按照检查发现类型并考虑其特殊性可分为如下3类:未能实现(fail to implement, FTI)类IF显著度评价流程、未能符合类(fail to comply, FTC)IF显著度评价流程和涉及应急行动水平(emergency action level, EAL)的IF显著度评价流程。

FTI是在核电厂营运单位响应实际事件时发现的应急响应能力问题。FTC则是在日常监管活动中发现的核电厂营运单位应急响应能力未能符合法规导则要求。而涉及EAL的检查发现也分两类:无效EAL和导致过高应急状态等级的EAL。

针对不同类别的IF,软件平台将引导用户按照不同的流程提交本节第5)条中定义的IF记录属性数据。图6为涉及EAL的IF显著度评价流程。

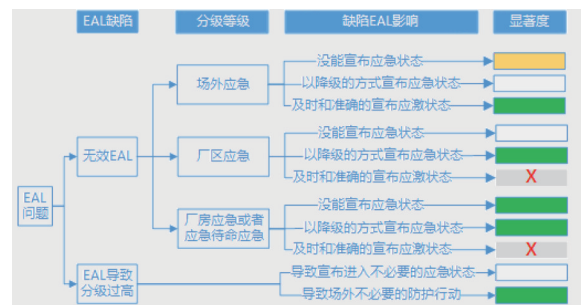


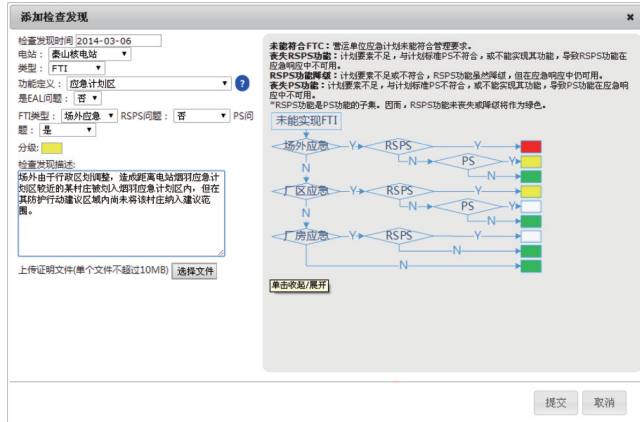
图6 涉及EAL的检查发现的显著度评价流程

Fig. 6 Evaluation program for inspection finding related with EAL

2) “评估准则”和评价“关注点”提示。软件平台在用户进行检查发现的显著度评价时同时显示“评价准则”和对应的“关注点”信息,作为用户进行显著度评价的基本依据和参考。

“评估准则”和“关注点”是评价方法提供的用于评价 IF

显著度的依据。14个功能类共提供评估准则 135 条,286 点。这些内容将在用户进行显著度评价时按功能类显示(参见图7,为应急计划区功能项的计划标准,评估准则和示例内容;在图7所示界面中也能够完成评估准则和关注点的维护功能)。



(a) FTI类显著度评价流程示例



(b) 评估准则、关注点和评价案例示例

图7 IF显著度评价界面

Fig. 7 Evaluation interface for inspection findings

3) 检查发现显著度评价实例。软件平台应支持用户根据筛选条件对显著度评价实例进行筛选。直接提供的筛选条件包括“基本功能项”、“电厂”、“评估准则和关注点”。

显著度评价实例筛选功能提供的可参考实例将有利于监管人员对其发现的应急响应能力问题进行显著度评价。

4) 检查发现显著度评价结果呈现。软件平台能够根据不同的层次需求呈现检查发现及其显著度评价结果。与PI

评价结果呈现一样,IF及其显著度评价结果按季度统计,软件平台应显示最近8个季度的情况。按需要,用户可以回溯。IF及其显著度评价结果呈现层次同样分电厂、区域和全国。但IF显著度评价结果呈现均以表格的形式出现。单个电厂IF显著度评价结果呈现如图8所示,图中颜色对应显著度级别。

秦山核电站 检查发现指标

电站	类型	Q1/2013	Q2/2013	Q3/2013	Q4/2013	Q1/2014	Q2/2014	Q3/2014	Q4/2014
华东 秦山 核电站 监管站	应急计划区								
	应急状态分级与应急行动水平					01-18 FTI		08-11 FTI	
	应急组织与职责								
	应急设施与设备								
	应急通讯、报告和通知								
	应急响应控制与系统设备抢修								
	事故后果评价								
	应急响应行动与防护措施								
	应急照射控制								
	医学救护								
	应急补救行动、应急终止和恢复行动								
	记录								
	应急能力的维持								

图8 电厂8个季度的检查发现情况

Fig. 8 Statistics of inspection findings for the last eight quarters

对于区域和全国的统计内容和意义均类似于2.2节第3)条(2)和(3)。区域(或国家)层统计内容包括基本功能类和电厂(或区域)两类。

5) 显著度评价数据的维护。与PI数据记录的维护类似,IF的显著度评价数据管理依赖于IF数据记录的属性和用户权限。IF数据记录属性中也包括时间属性、数据属性和管理属性等。PI数据记录管理界面类似于图3。而数据记录添

加修改界面则集成在图7(a)中。

2.4 内部管理流程

内部管理流程包括电站工作人员内部管理流程和监管人员内部管理流程。

此处管理流程为用户在提交各自职责范围内的数据时在其机构内部完成必要的编写、审核和批准等流程。软件平台提供相应的功能,作为应急响应能力评估功能的补充。

未完成内部管理流程的基础评价数据或评价结果均不能提交,不会如图5或者图8所示那样被统计。内部管理流程同样将决定是否公开评价数据和结果。

2.5 综合评价

核电厂营运单位的应急响应能力,通过性能指标和检查发现2个指标体系进行综合评价。经显著度评价后的检查发现与与阈值评价的性能指标综合称为核电厂显著度评价结果的综合,即统计各季度各级别显著度数量,统计层次仍为电厂、区域和国家。电厂层次以显著度级别作为统计分类。其形式如图8所示。

对于区域和全国层次的统计内容和意义均类似于2.2节第3)条(2)和(3)。区域(或国家)层统计内容包括显著度级别和电厂(或区域)两类。

2.6 电厂管理

软件平台提供电厂管理功能。电厂管理内容包括添加和删除电厂、添加和删除区域、变更电厂所属区域和变更电厂和区域名称。这些功能只能由系统管理员执行。

按照中国的管理模式,电厂分区域监管。全国共建有东北核与辐射安全监督站、北方核与辐射安全监督站、西北核与辐射安全监督站、华东核与辐射安全监督站、四川核与辐射安全监督站和广东核与辐射安全监督站,每个监督站按照其职责负责不同省份的电站监管工作。虽然目前只有部分监督站负责的区域内建有核电厂,但软件平台应该支持对所有区域内电厂的管理。

2.7 评估准则和关注点维护

软件平台提供管理工具维护评估准则和关注点。评估准则与关注点之间为一对多的关系。评估准则和关注点的维护是系统管理员的职责。

评估准则和关注点维护界面如图7(a)。当某项被选中时,鼠标移动到被选项右上角的时候就会出现如图9中所示的编辑提示,其中“✎”表示编辑,“✕”表示删除。在图9中,每列下方均有“新增”按钮供用户实现新增内容项。

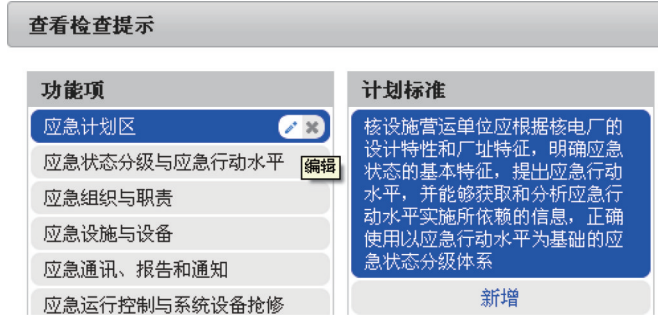


图9 评估准则和关注点维护界面
Fig. 9 Maintenance interface for evaluation criteria and concerns

评估准则和关注点维护功能支持最佳实践原则的实施。可在实践中归纳和修订评估准则及关注点,使得核电厂营运单位应急响应能力建设和监管实践成果可以得到适时总结与推广。

3 软件实现

软件平台采用B/S架构,用C#语言在Microsoft Visual Studio 2010中实现,可以运行在Windows Server 2008及以上版本的网络操作系统中。软件平台的网络服务器为微软的Internet Information Services (IIS),数据库平台为Microsoft SQL Server 2012。软件平台的目标浏览器为目前市场上的主流浏览器及版本,包括Internet Explorer 8.0及以上版本,Google Chrome 30及以上版本,Mozilla Firefox 25及以上版本。软件平台界面见图10,顶端为软件名称显示区域和管理功能区域,除能够实现用户管理功能外,也能够开启性能指标与检查发现的评价过程;左侧栏为监督区域与核电站显示与管理区域;中间为评估数据结果显示区域。



图10 软件平台整体外观
Fig. 10 Layout of evaluation platform

4 结论

介绍了核电厂营运单位应急响应能力评估方法,分析了该方法体系得以实现的可能途径——研发“核电厂营运单位应急响应能力评估软件平台”,作为辅助评估方法实践的重要工具。论述了为实现评估方法的简便易用,配套软件平台应具有的功能及其实现路径。软件平台的应用将利于实践评估方法提出的最佳实践原则的实现,有利于核电厂应急能力建设和监管经验的总结,有利于数据与资料的收集,为法规导则建设提供原始素材支持,也有利于公众与业界、业界与监管方、公众与监管方在同一平台上的沟通与交流,最终促进核电厂营运单位应急响应能力建设机制不断完善,应急响应能力不断提高。

参考文献(References)

- [1] Nuclear Emergency Response Headquarter, Government of Japan. Report of the Japanese government to the IAEA ministerial conference on nuclear safety—the accident at TEPCO's fukushima nuclear power stations[R]. Vienna: Nuclear Emergency Response Headquarters, Government of Japan, 2011.
- [2] International Atomic Energy Agency Expert Mission. IAEA international fact finding expert mission of the nuclear accident following the great east Japan earthquake and tsunami[EB/OL]. 2011-05-24. http://www-pub.iaea.org/MTCD/meetings/PDFplus/2011/cn200/documentation/cn200_Final-Fukushima-Mission_Report.pdf.
- [3] 薛大知, 张立国. 福岛核事故应急引发的思考[C]. 21世纪初辐射防护论坛第九次会议——日本福岛核事故专题研讨会, 扬州, 09-26-28, 2011.
Xue Dazhi, Zhang Ligu. Thinking after Fukushima accident[C]. The 9th Meeting of Radiation Protection Symposium in 21st century, Yangzhou, September 26-28, 2011.
- [4] International Atomic Energy Agency. GS-R-2 Preparedness and Response for a nuclear or radiological emergency[S]. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2002.
- [5] International Atomic Energy Agency. Preparation, conduct and evaluation of exercises to test preparedness for a nuclear or radiological emergency [S]. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2005.
- [6] United States Nuclear Regulatory Commission. NUREG 0654/FEMA-REP-1 Criteria for preparation and evaluation of radiological emergency response plans and preparedness in support of nuclear power plants[S]. Washington DC: Nuclear Regulation Commission, 1980.
- [7] World Association of Nuclear Operators. PRO&C 2013-2 WANO pre-startup performance objectives and criteria[R]. London: World Association of Nuclear Operator, 2013.
- [8] United States Nuclear Regulatory Commission. IMC 0305 Operating reactor assessment program[R]. Washington DC: Nuclear Regulation Commission, 2012.
- [9] United States Nuclear Regulatory Commission. IMC 0308 Reactor oversight process (ROP) basis document[R]. Washington DC: Nuclear Regulation Commission, 2007.
- [10] United States Nuclear Regulatory Commission. Technical basis for performance indicators, IMC 0308 attachment 1[R]. Washington DC: Nuclear Regulation Commission, 2007.
- [11] United States Nuclear Regulatory Commission. Technical basis for inspection program, IMC 0308 attachment 2[R]. Washington DC: Nuclear Regulation Commission, 2006.
- [12] United States Nuclear Regulatory Commission. IMC 0308 attachment 3, significance determination process basis document[R]. Washington DC: Nuclear Regulation Commission, 2006.
- [13] United States Nuclear Regulatory Commission. Technical basis for emergency preparedness significant determination process., IMC 0308 attachment 3 appendix B[R]. Washington DC: Nuclear Regulation Commission, 2012.
- [14] United States Nuclear Regulatory Commission. IMC 0608 Performance indicator program[R]. Washington DC: Nuclear Regulation Commission, 2012.
- [15] United States Nuclear Regulatory Commission. Emergency preparedness significant determination process, IMC 0609 appendix B[R]. Washington DC: Nuclear Regulation Commission, 2012.
- [16] US NEI. NEI-99-01 Development of emergency action levels for non-passive reactors[R]. Washington DC: Nuclear Energy Institute, 2012.
- [17] US NEI. NEI 99-02 Regulatory assessment performance indicator guideline[R]. Washington DC: Nuclear Energy Institute, 2009.
- [18] United States Nuclear Regulatory Commission. Reactor oversight process[R]. NUREG 1649, Washington DC: Nuclear Regulation Commission, 2006.
- [19] 清华大学核能与新能源技术研究院. 核电厂应急响应能力评估方法研究进展报告. 第1部分: 美国核电厂应急响应能力评估方法研究进展报告[R]. 北京: 清华大学, 2013.
Institute of Nuclear and New Energy Technology, Tsinghua University. Report of research on evaluation methods for capability of emergency response of NPPs Part I: Evaluation method from nuclear regulation commission, USA[R]. Beijing: Tsinghua University, 2013.
- [20] 国家核安全局. HAF002/01 核电厂营运单位的应急准备和应急响应[S]. 北京: 国家核安全局, 1998.
National Nuclear Safety Administration. HAF002/01 Preparedness and response of nuclear power plant[S]. Beijing: National Nuclear Safety Administration, 1998.
- [21] 国家核安全局. HAD002/01 核动力厂营运单位的应急准备和应急响应[S]. 北京: 国家核安全局, 2010.
National Nuclear Safety Administration. HAD002/01 Preparedness and response of nuclear power plant[S]. Beijing: National Nuclear Safety Administration, 2010.
- [22] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 17680 核电厂应急计划与准备准则[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine, Standardization Administration. GB/T 17680 criteria for emergency planning and preparedness for nuclear power plants[S]. Beijing: China Standard Press 1999.
- [23] 中华人民共和国国务院. HAF002 核电厂核事故应急管理条例[S]. 北京: 中华人民共和国国务院, 1993.
State Council of China. HAF002 Regulations on emergency management of nuclear power plant[S]. Beijing: State Council of China, 1993.
- [24] 清华大学. 核电厂营运单位应急响应能力评估方法[R]. 北京: 清华大学, 2014.
Tsinghua University. Method for evaluation on capability of emergency response of nuclear power plant[R]. 北京: 清华大学, 2014.
- [25] 清华大学核研院. 核电厂营运单位应急响应能力评估平台软件设计说明书[R]. 北京: 清华大学, 2014.
Tsinghua University. Design documents of platform for evaluation on capability of emergency response of nuclear power plant[R]. Beijing: Tsinghua University, 2014.

(责任编辑 王媛媛)