



## 使用分级方案应用研究堆应急准备与响应要求研究

于红, 程诗思, 刘汀

### Research on Use of a Graded Approach in Application of Emergency Preparedness and Response Requirements for Research Reactors

Yu Hong, Cheng Shisi, and Liu Ting

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13832/j.jnpe.2022.03.0232>

#### 您可能感兴趣的其他文章

##### Articles you may be interested in

##### 某研究堆应急电力系统设计

Design of an Emergency Power Supply System for a Research Reactor

核动力工程. 2019, 40(3): 165–169

##### 核电厂松脱事件报警及应急响应研究

Research on Event Alarm and Emergency Response of Loose Parts for Nuclear Power Plants

核动力工程. 2018, 39(5): 181–182

##### 基于系统工程方法的HPR1000应急堆芯余热排出系统设计研究

Research on Design Method of HPR1000 Emergency Residual Heat Removal System Based on System Engineering Method

核动力工程. 2021, 42(2): 93–98

##### 我国核动力水面舰船核事故应急状态诊断需求分析

Demands Analysis on Diagnosis of Nuclear Accident Emergency Status of Chinese Nuclear-Powered Surface Ship

核动力工程. 2021, 42(4): 151–158

##### 风险指引的核电厂应急柴油发电机返厂大修分析

Risk-Informed Analysis of Nuclear Power Plant Emergency Diesel Generator Returning to Factory for Overhaul

核动力工程. 2021, 42(6): 225–229

##### 压力/差压变送器在研究堆应用中应考虑的因素与对策研究

Study on Factors and Countermeasures in Application of Pressure Transmitter and Differential Pressure Transmitter in Research Reactors

核动力工程. 2018, 39(6): 137–140



关注微信公众号，获得更多资讯信息

文章编号: 0258-0926(2022)03-0232-05; DOI:10.13832/j.jnpe.2022.03.0232

# 使用分级方案应用研究堆应急准备与响应要求研究

于红, 程诗思, 刘汀

中国核动力研究设计院核反应堆系统设计技术重点实验室, 成都, 610213

**摘要:** 我国当前的研究堆应急管理没有对不同类别研究堆的应急准备与响应作出差异性要求, 分级方案是根据与反应堆相关的潜在危害正当应用这些安全要求的良好手段。按照分级方案的步骤, 基于我国当前研究堆安全分类准则、国际原子能机构 (IAEA) 功率相关应急威胁分类准则以及应用 IAEA 应急准备与响应要求的分级方案的依据, 提出了我国研究堆的应急管理分类准则以及对不同应急管理类别研究堆应急状态分级和应急计划区 (EPZ) 要求, 这为简化低功率研究堆营运单位应急预案的内容和细节的范围、程度和水平以及建立与不同类别研究堆危害评定结果相称的我国研究堆应急管理系统提供了依据。

**关键词:** 研究堆; 核应急; 分级方案; 相称原则; 应急管理分类; 应急准备与响应要求

**中图分类号:** TL364 **文献标志码:** A

## Research on Use of a Graded Approach in Application of Emergency Preparedness and Response Requirements for Research Reactors

Yu Hong, Cheng Shisi, Liu Ting

Science and Technology on Reactor System Design Technology Laboratory, Nuclear Power Institute of China, Chengdu, 610213, China

**Abstract:** The current emergency management of research reactors in China does not have different requirements for emergency preparedness and response of different types of research reactors. A graded approach is a good means of properly applying these requirements in light of the potential hazards associated with the reactor. According to the steps of the graded approach, based on China's current research reactor safety classification criteria, the power related emergency threat classification criteria of the International Atomic Energy Agency (IAEA) and the graded approach for applying IAEA emergency preparedness and response requirements, this paper puts forward the emergency management classification criteria of Chinese research reactors and the requirements for emergency state classification and emergency planning areas of research reactors with different emergency management categories, which provides a basis for simplifying the scope, extent and level of the content and details of emergency plans for low-power research reactor operating organizations, and for establishing an emergency management system for China's research reactors that is commensurate with the hazard assessment results for different types of research reactors.

**Key words:** Research reactor, Nuclear emergency, Graded approach, Proportionality, Emergency management categorization, Emergency preparedness and response requirements

## 0 前言

我国目前约有 13 座热功率范围从几十千瓦

到上百兆瓦、设计特征、运行制度、实验装置和利用活动等显著不同的在役研究堆 (不包括临界

收稿日期: 2021-03-24; 修回日期: 2021-04-02

作者简介: 于红 (1979—), 女, 研究员级高级工程师, 现从事辐射防护与核应急工作, E-mail: [appleinchina@163.com](mailto:appleinchina@163.com)

装置)。国家核安全局规定：对于不同类别的研究堆，其纵深防御的层次和重点可以适当调整，对许多低功率研究堆，可能不需要考虑或者需要尽可能简化第5层次防御乃至第4层次防御的考虑<sup>[1]</sup>。也即，不同类别研究堆的核应急计划应有所不同。

国际原子能机构（IAEA）安全标准规定：对于应急照射情况，政府应确保建立一个与危害评定结果相称且能够对设施相关可合理预见事件作出有效应急响应的应急管理系统<sup>[2]</sup>。然而，我国核安全法规体系中仅有的1项对研究堆应急准备与响应做出具体要求的核安全导则HAD 002/06—2019《研究堆营运单位的应急准备和应急响应》，并没有对不同类别的研究堆做出任何差异性的要求，甚至除了应急计划区（EPZ）范围，对其他核应急所需基础结构要素的要求几乎与核动力厂完全相同。

IAEA安全标准还规定：虽然对研究堆的安全要求很多与动力堆相同或相似，但鉴于研究堆与动力堆之间、不同类型研究堆之间的重大差异，应根据与其反应堆相关的潜在危害通过分级方案的手段正当应用这些安全要求，并反映在相应的法规和导则中，供审查、评价或检查使用<sup>[3-4]</sup>。

本文对使用分级方案应用研究堆应急准备与响应要求开展研究，以便为建立与不同类别研究

堆危害评定结果相称、充分但不过度的我国研究堆核应急管理系统提供依据。

## 1 我国研究堆的应急管理现状

实际上，我国当前的研究堆核应急管理实践并未严格做到与危害评定结果相称，这主要是因为：

（1）虽然国家核安全局给出了我国研究堆安全分类准则和结果（表1）的指导意见<sup>[1]</sup>，在我国研究堆的应急管理实践中也试图按照该分类对研究堆的应急进行管理，但该分类是在认为我国的研究堆都仅具有场内放射性危害的可能的前提下提出的。

（2）由于我国仅有的1项对研究堆应急准备与响应做出具体要求的核安全导则HAD 002/06—2019除了EPZ范围，既没有对不同类别的研究堆做出差异性要求，又与动力堆基本相同，使得某些研究堆营运单位不得不制定过度充分的应急预案。实际上，并不是每个研究堆都要满足HAD 002/06—2019的所有要求，如果能够证明放弃HAD 002/06—2019中的某一或某些要求是正当的，就可以简化应急预案。例如，表1中功率仅为几十千瓦的类别I研究堆，即使不考虑应急照射情况下对反应堆和相连接实验装置采取任何缓解行动，也仅具有反应堆大厅内放射性危害的可能，放弃HAD 002/06—2019关于环境概括、

表1 我国研究堆安全分类准则和结果

Tab. 1 Safety Classification Criteria and Results of Research Reactors in China

安全类别	分类准则		我国在役研究堆		
			堆名	堆型	设计功率
I	功率低、剩余反应性低、裂变产物总量少	小于500 kW <sup>①</sup>	原型微型反应堆	轻水堆	27 kW
			深圳微型反应堆	轻水堆	30 kW
			医院中子照射器	轻水堆	60 kW
II	功率、剩余反应性和裂变产物总量属于中等	500 kW~10 MW	中国脉冲堆	轻水堆	1.0 MW
			屏蔽试验反应堆	轻水堆	1.0 MW
			49-2游泳池式反应堆	轻水堆	3.5 MW
			岷江试验堆	轻水堆	5.0 MW
			5 MW低温核供热反应堆	轻水堆	5.0 MW
			重水研究堆	重水堆	10 MW
III	功率、剩余反应性和裂变产物总量都较高	10 MW以上	10 MW高温气冷实验堆（HTR-10）	石墨气冷堆	10 MW
			中国先进研究堆（CARR）	轻水堆	60 MW
			中国实验快堆（CEFR）	快堆	65 MW
			高通量工程试验堆（HFETR）	轻水堆	125 MW

注：①如果具有较高的固有安全特性，功率范围可扩展至1.0 MW

EPZ、场区和场外人员防护措施等的要求显然是正当的。

(3) HAD 002/06—2019 仅对不同功率研究堆的 EPZ 范围作出了差异性要求 (表 2), 但其功率划分既与国家核安全局安全分类的指导意见不同, 又与 IAEA 推荐的用于简化应急计划的应急威胁类别 (表 3)<sup>[5]</sup> 不同, 由于没有统一的标准, 又使某些研究堆营运单位不得不制定过度充分的应急预案。

表 2 我国研究堆功率相关 EPZ 范围

Tab. 2 Power Related Emergency Planning Zone Size of Research Reactors in China

功率	EPZ范围(以反应堆为中心)
功率<2 MW (t)	运行边界
2 MW(t)≤功率<10 MW(t)	100 m
10 MW≤功率<20 MW	400 m
20 MW≤功率<50 MW	800 m
功率>50 MW	大于800 m (视具体情况而定, 在某些方面应遵循动力堆的有关规定)

表 3 IAEA 功率相关应急威胁分类准则

Tab. 3 Power Related Emergency Threat Categorization Criteria of IAEA

应急威胁类别	分类准则	核设施
I	对其假想的紧急情况可能导致场外严重确定性健康效应 功率>100 MW(t)	动力堆、核动力船舶、研究堆
II	对其假想的紧急情况可能导致采取场外紧急防护行动的剂量 2 MW(t) 功率≤100 MW(t)	
III	对其假想的紧急情况可能导致采取场内紧急防护行动的剂量 功率≤2 MW(t)	—

“—”表示无数据

可见, 我国急需一个科学的方法实现对研究堆应急的分类管理。分级方案是一个被国际组织和世界各国普遍认可的用于应用与设施或活动、源特性相称或与照射大小、可能性相称的安全要求的方法。

## 2 分级方案和使用分级方案应用安全要求的步骤

分级方案亦称相称原则, 是一种对控制系统 (如, 监管系统或安全系统) 而言的过程或方法,

该过程或方法中应用的控制措施和条件的严格程度在切实可行的范围内与失去控制的可能性和可能后果以及相关风险水平相称<sup>[6]</sup>。

使用分级方案应用对核设施的安全要求通常包括以下 2 个步骤<sup>[7]</sup>:

(1) 步骤一: 根据可能的放射性危害, 使用“多-类别系统”对设施进行定性分类, 提供初始分级, 即: 具有场外放射性危害可能的设施; 仅具有场内放射性危害可能的设施; 不具有反应堆大厅和相连接的实验装置区域以外放射性危害可能的设施。

(2) 步骤二: 对设施相关活动和/或结构、系统和部件 (SSCs) 的安全重要性进行分析, 根据安全重要性, 确定应用于活动和/或 SSCs 的要求的详细程度, 提供应用于独有特性的更详细分级, 如: 选址、设计、运行、退役、监管、安全分析、辐射防护、应急计划、运行限值和条件、操作规程以及培训。

使用分级方案决定不同类别研究堆应用的法规或导则中的应急准备与响应要求, 特别是放弃某一或某些要求, 也需要按照上述 2 个步骤实现, 即:

(1) 通过步骤一, 决定我国研究堆的应急管理分类。

(2) 通过步骤二, 决定不同应急管理类别研究堆应用的应急准备与响应具体要求的范围、程度和水平。

## 3 基于分级方案的我国研究堆应急管理

IAEA 于 2015 年印发的安全标准丛书 No.GSR Part 7《核或放射性应急准备与响应》提出了适用于可能造成辐射照射、环境污染或公众采取防护行动和其他响应行动的所有设施、活动和辐射源 (不包括核安保事件) 应急准备与响应的 26 个要求, 并给出了应用这 26 个要求的分级方案的依据 (表 4)。

表 4 的应急准备类别与表 3 的应急威胁类别相似, 这是因为表 3 中的应急威胁类别从设施、活动或辐射源的角度提出, 而表 4 中的应急准备类别是从设施、活动或辐射源可能导致的危害的角度提出。

表 4 应用 IAEA 应急准备与响应要求的分级方案依据

Tab. 4 Basis for a Graded Approach to Application of IAEA Emergency Preparedness and Response

应急准备类别	描述	
I	核电厂	假想的场内事件（包括设计中没有考虑的）可能造成场外的严重确定性效应升高，证明为了达到与国际标准一致的应急响应目标，预防性紧急防护行动、紧急防护行动或早期防护行动以及其他响应行动是正当的；或类似的设施已经发生了这样的事件
II	某类研究堆、核动力船舶或潜艇	假想的场内事件（包括设计中没有考虑的）可能造成场外人员的剂量升高，证明为了达到与国际标准一致的应急响应目标，紧急防护行动、早期防护行动和其他响应行动是正当的；或类似的设施已经发生了这样的事件 与类别 I 不同，类别 II 不包括假想的场内事件（包括设计中没有考虑的）可能造成场外严重确定性效应升高的设施；或类似的设施已经发生了这样的事件
III	工业辐照设施、某些医院	假想的场内事件（包括设计中没有考虑的）证明为了达到与国际标准一致的应急响应目标，场内防护行动和其他响应行动是正当的；或类似的设施已经发生了这样的事件 与类别 II 不同，类别 III 不包括假想的事件可能证明场外紧急防护行动或早期防护行动是正当的设施；或类似的设施已经发生了这样的事件

虽然应用应急准备与响应要求的分级方案应以危害评定为基础，但实际上 IAEA 给出的分级方案的依据已充分考虑了世界上 69 个国家建造的约 670 座研究堆（包括临界和次临界装置）积累的约 13000（堆·a）的经验，具有很强的通用性。另外，虽然除了反应堆功率，在使用分级方案决定是否可以放弃某一或某些应急准备与响应要求时，即，分级方案步骤一中根据放射性危害导出设施类别时，还应考虑放射性源项、燃料类型及其化学组成、慢化剂和冷却剂类型和质量、包容体结构或其他约束手段、反应堆利用、场址

位置、邻近人群组等其他特性或属性，但考虑到建设相同类型研究堆的可能性很小、未来建设何种类型的研究堆的不可预期以及数字化研究堆可能彻底取代实体研究堆，以反应堆功率作为使用分级方案导出研究堆类别的最主要考虑最具可操作性。因此，提出了我国研究堆应急管理分类准则和结果（表 5）。

对于应急管理，应急状态分级和 EPZ 要求尤其重要，因为其直接决定了应急响应组织及其职责、应急响应设施或场所及其设备和物资、应急响应执行程序以及应急准备投入等其他核应急

表 5 我国研究堆应急管理分类准则和结果

Tab. 5 Classification Criteria and Results of Emergency Management of Research Reactors in China

应急管理类别	分类准则		我国在役研究堆			
			堆名	堆型	设计功率	
I	不具有反应堆大厅和相连接的实验装置区域以外放射性危害可能	对其假想的紧急情况可能导致采取反应堆大厅和相连接的实验装置区域内紧急防护行动的剂量	功率<1 MW(t)	原型微型反应堆	轻水堆	27 kW
				深圳微型反应堆	轻水堆	30 kW
				医院中子照射器	轻水堆	60 kW
II	仅具有场内放射性危害可能	对其假想的紧急情况可能导致采取场内紧急防护行动的剂量	1 MW(t)≤功率<10 MW(t)	中国脉冲堆	轻水堆	1.0 MW
				屏蔽试验反应堆	轻水堆	1 MW
				49-2游泳池式反应堆	轻水堆	3.5 MW
				岷江试验堆	轻水堆	5.0 MW
III	具有场外放射性危害可能	对其假想的紧急情况可能导致采取场外紧急防护行动的剂量	10 MW (t) ≤功率<100 MW(t)	5 MW低温核供热反应堆	轻水堆	5.0 MW
				重水研究堆	重水堆	10 MW
				10 MW高温气冷实验堆 (HTR-10)	石墨气冷堆	10 MW
				中国先进研究堆 (CARR)	轻水堆	60 MW
				中国实验快堆 (CEFR)	快堆	65 MW
		对其假想的紧急情况不仅可能导致采取场外紧急防护行动的剂量，还可能导致场外严重确定性健康效应	100 MW(t)≤功率	高通量工程试验堆 (HFETR)	轻水堆	125 MW

所需基础结构要素细节的范围、程度和水平。例如,表5中的类别I与类别III研究堆相比,类别I研究堆需要更简单的应急组织结构和更少的应急响应人员,从而需要更少的为应急响应人员胜任其应急响应职责必须配备的应急响应设施或场

所、更简单的应急响应任务决策和分派以及协调和管理流程、更简单的为维护应急响应能力必须投入的技术储备和人员培训以及财政支出。因此,提出了与表5中应急管理类别相称的我国研究堆应急状态分级和EPZ要求(表6)。

表6 我国研究堆应急状态分级和应急计划区要求

Tab. 6 Requirements for Emergency State Classification and Emergency Planning Zone of Research Reactors in China

应急管理类别		I类	II类	III类	
		功率<1 MW(t)	1 MW(t)≤功率<10 MW(t)	10 MW(t)≤功率<100 MW(t)	100 MW(t)≤功率
应急等级	应急待命	Y	Y	Y	Y
	厂房应急	Y	Y	Y	Y
	场区应急	X	Y	Y	Y
	场外应急	X	X	Y	Y
EPZ	预防行动区(PAZ)	X	X	X	Y
	紧急防护行动计划区(UPZ)	X	X	Y	Y
	延伸计划距离(EPD)	X	X	Y	Y
	食入及商品限制计划距离(ICPD)	X	X	Y	Y

Y—要求; X—不要求

## 4 结论

(1) 使用分级方案应用研究堆的应急准备与响应要求,有助于建立与不同类别研究堆危害评定结果相称的我国研究堆应急管理系统。

(2) 将基于分级方案的研究堆应急准备与响应要求体现在我国的相应法规和导则中,有助于帮助研究堆营运单位制定充分但不过度的应急预案。

(3) 基于我国当前研究堆安全分类准则、IAEA功率相关应急威胁分类准则以及应用IAEA应急准备与响应要求的分级方案的依据提出的我国研究堆应急管理分类准则,能够为我国研究堆应急的分类管理提供统一标准。

(4) 基于我国研究堆应急管理分类准则提出的应急状态分级和应急计划区要求,能够为低功率研究堆营运单位制定内容和细节及其范围、程度和水平简化的应急预案提供指导。

### 参考文献:

[1] 国家核安全局. 关于印发《研究堆安全分类(试行)》的通知(国核安发[2013]165号)[EB/OL]. (2013-09-

22)[2021-04-23]. [http://www.nea.gov.cn/2014-06/06/c\\_133388621.htm](http://www.nea.gov.cn/2014-06/06/c_133388621.htm).

[2] International Atomic Energy Agency. Radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards: GSR part 3[R]. Vienna: IAEA, 2014: 7-8.

[3] International Atomic Energy Agency. Safety of research reactors: SSR-3[R]. Vienna: IAEA, 2016: 1-2.

[4] International Atomic Energy Agency. Licensing process for nuclear installations: SSG-12[R]. Vienna: IAEA, 2010: 8-9.

[5] International Atomic Energy Agency. Method for developing arrangements for response to a nuclear or radiological emergency: updating IAEA-TECDOC-953[R]. Vienna: IAEA, 2003: 20-21.

[6] International Atomic Energy Agency. IAEA safety glossary: terminology used in nuclear safety and radiation protection 2018 edition[Z]. Vienna: IAEA, 2019: 104-104.

[7] International Atomic Energy Agency. Use of a graded approach in the application of the safety requirements for research reactors: SSG-22[R]. Vienna: IAEA, 2012: 5-8.

(责任编辑:王中强)