

# 核电站厂区实验室辅助工艺系统设计浅析

范晓梅

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

**摘要:** [目的]核电站厂区实验室是核电站全厂辅助设施中重要的技术性厂房,其辅助工艺系统的设计也尤为重要,需提供更好的工艺设计。[方法]以红沿河核电站厂区实验室为例,对化实验室的辅助工艺系统设计进行了阐述。[结果]总结出了核电站厂区实验室按照分析样品的性质进行辐射分区布置并配套低放废液收集系统的特点,以及其配套的工艺管道设计的原则。[结论]研究成果为将来核电厂厂区实验室的工艺设计提供可资借鉴的经验。

**关键词:** 核电站厂区实验室; 低放废液; 辐射分区

中图分类号: TL4; TM621.8

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2018)S1-0117-06

## Analysis on the Auxiliary Process System of Site Laboratory in Nuclear Power Plant

FAN Xiaomei

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute, Co., Ltd., Guangzhou 501663, China)

**Abstract:** [Introduction] The site laboratory in nuclear power plant is the important technology building, and the auxiliary process system served is also important to provide the better process system design. [Method] This article took the site laboratory in Hongyanhe nuclear power plant as an example, and discussed the auxiliary process system. [Result] The results summarize the layout principles of radiation zoning according to the characters and source of the sample, and the system which for being slightly radioactive-sewage recovery and the design principles of piping layout and so on. [Conclusion] This article provides the useful experience for the process system design of site laboratory in nuclear power plant in the future.

**Key words:** site laboratory in nuclear power plant; low-level slightly radioactive-sewage; radiation zoning

核电站厂区实验室<sup>[1-3]</sup>是核电站全厂辅助设施中重要的技术性厂房,承担了对来自核取样系统、二回路水汽取样监测系统的人工取样点、全厂就地取样点的液体、气体和油样品进行定期的化学和放射化学组分监测任务<sup>[4-7]</sup>。检测结果对判断核电站各运行工况下一、二回路及辅助系统的水质指标、设备运行状况具有重要的指导意义。该厂房是结合了工艺功能和办公功能的含辐射的核电技术厂房。本文以红沿河核电站为例,详细介绍了核电站化学实验室的工艺辅助系统设计方案,从厂区实验室的辐射分区布置方案、配套公用工艺系统设置及工艺

管道布置设计原则等方面进行阐述。

### 1 核电站实验室厂房布置

#### 1.1 厂房组织和主要功能

核电站实验厂房主要由5个部分组成,包括水化学实验室、放射性流出物分析实验室、油分析实验室、办公室和辅助设施间。其主要功能如下:

1)水化学实验室承担了核电厂一、二回路和辅助系统中化学组成及放射性活度的检测。测定核电站各系统的水样品的化学组分和放射性参数,以判断各系统可能产生的腐蚀和泄漏情况。

2)放射性流出物实验室承担反应堆排放水和废气的放射性活度的监测,以确定其排放的放射性水平符合国家有关法规标准 and 环境影响报告的要求,保证向电站周围环境的受控排放。

收稿日期: 2018-09-14 修回日期: 2018-11-07

基金项目: 中国能建广东院科技项目“核电站中低放三废处理关键技术研究”(EV03441W)

3)油分析实验室承担了对电厂润滑油、阻燃油、变压器油、燃油等油类的色度、酸值、粘度、氧化稳定性、水含量、闪点等参数进行分析的任务。

4)辅助设施间包括服务于实验工作的配电间、通风间、通信室、低放废液贮存输送间等。

### 1.2 规范要求

核电站实验厂房设计首先要根据各实验室的功能和分析样品的特点对实验室进行辐射分区,从而为厂房的总体布置、通风设计、屏蔽设计提供依据,以防止放射性污染扩散、便于辐射防护管理和职业照射控制,使工作人员的职业照射剂量达到合理可行尽量低的水平。

按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871—2002)<sup>[8]</sup>及《压水堆核动力厂厂内辐射分区设计准则》(NB/T 20185—2012)<sup>[9]</sup>的有关规定,根据辐射剂量边界值(个人一年内预期接受的剂量)进行辐射分区:工作人员在其中活动,一年内预期接受的剂量小于1 mSv的区域为非辐射工作场所;一年内预期接受的剂量可能大于1 mSv,但不超过5 mSv的区域为监督区;一年内预期接受的剂量可能大于5 mSv的区域为控制区。

按以上辐射分区原则:水化学实验室和放射性

流出物分析实验室中的离子色谱间、放化测量间、放化存样间、放化制备间、原子吸收间、热制备间、等离子体间和放射性样品存放间等属于控制区;冷实验室、功能间、配置间和流出物测量间、冷准备室属于监督区;其它实验室及油分析室属于非辐射工作场所。

### 1.3 红沿河核电站实验室布置

以红沿河核电厂厂区实验室为例,实验室厂房按满足工艺需求,布局合理、联系方便,互不干扰的原则,建筑物设计为三层。

一层布置水化学实验室和放射性流出物分析实验室。其中属于控制区的各实验室集中布置,通过设置辐射屏蔽墙与其他区域分隔。控制区对外仅设1个人员出入旋转门,门侧设更衣室,进入控制区的工作人员必须穿好工作服,并完成领取电子式计量计、通行卡等通行手续后方可进入。为满足防火设计规范要求的防火门,设置了门禁系统控制,仅在发生火灾时自动解除闭锁。控制区辐射屏蔽墙上设有送样窗,检测样品可通过送样窗完成送样。监督区与室外及气瓶区均采用实体墙隔离。厂区实验室一层布置如图1所示。

二层按非辐射工作场所设计,主要布置油分析实验室及办公室、资料室等。

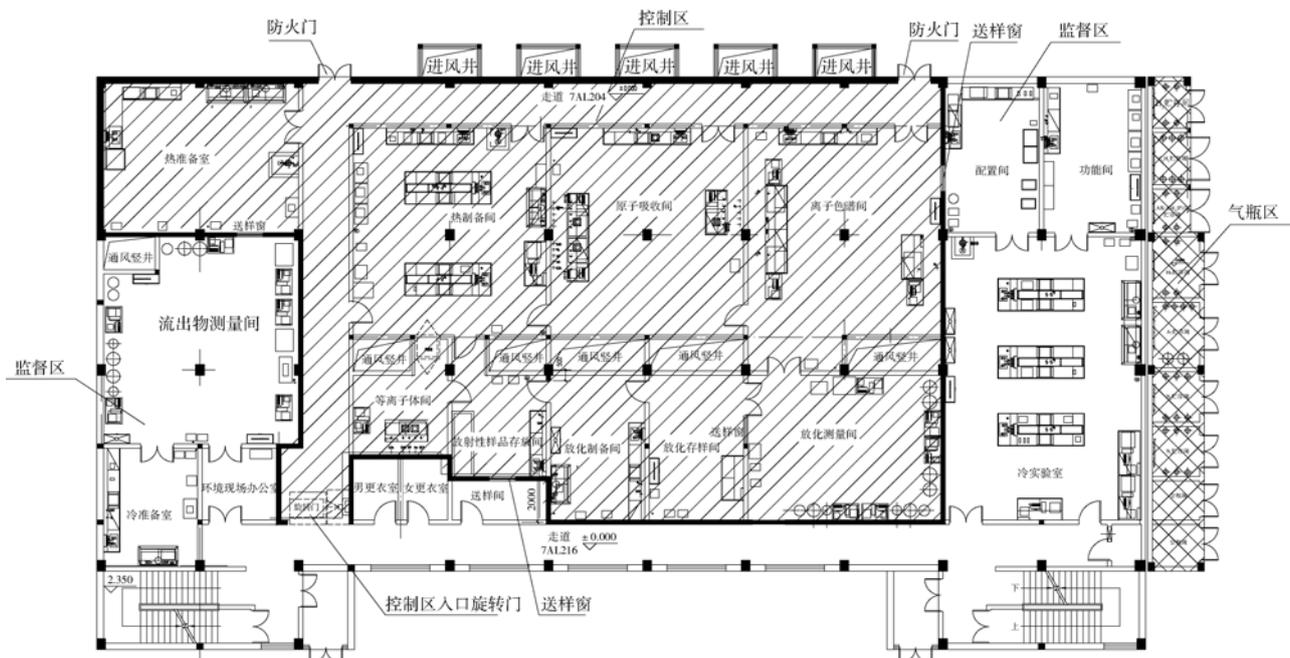


图1 厂区实验室平面布置示意图(一层)

Fig. 1 The schematic layout diagram of the site laboratory (first floor)

各辅助设施集中布置在地下室。主要有低放废液贮存输送间、配电间、通风设备间等。其中低放废液贮存输送间按辐射分区属于监督区，其余辅助间均为非辐射工作场所。低放废液贮存输送间与其他区域用辐射屏蔽墙分隔。

## 2 核电站实验室辅助工艺系统设计

核电站厂区实验室配套设置了服务于实验分析的辅助系统，包括有供气、供水、排水、通风、电气、通信等。本文主要针对其中的工艺系统<sup>[10]</sup>，即供气、供水和排水系统的设计进行阐述。

### 2.1 核电站实验室供气系统

#### 2.1.1 供气系统组成

为满足实验仪器的用气要求，核电站厂区实验室设计了配套的供气系统。包括压缩空气、氩气、氮气、氢气、乙炔、氦气和氩-甲烷气的供给。公用压缩空气来自核电厂仪用压缩空气系统，空气供气总管由地下管廊进入实验室厂房，然后分配到实验室各个使用点。其余气体则采用外购瓶装气供气的方式。毗邻厂区实验室一侧设置了气瓶间，其建筑设计符合《核电厂常规岛设计防火规范》(GB 50745—2012)<sup>[11]</sup>对气瓶间设计的要求。

每个气瓶间内设置了相应的气体汇流排，汇流排由关断阀、减压阀、安全阀、压力表等组成，如图 2 所示。外购气瓶出气口通过软管连接到气体汇流排，减压到供气压力要求，由固定管道送到用气点。气体汇流排用膨胀螺栓固定到气瓶间墙壁，气

瓶间内设气瓶支架固定气瓶。

#### 2.1.2 供气系统管道布置

气体管道从气瓶间穿出，在吊顶内布置，到用气点附近从吊顶内穿出。用气点处实验台上设有功能柱，管道穿功能柱暗敷到工作台面，使得实验室整体布置简洁、整齐。对于因仪器设备的用气要求还应进行二次减压的气体管道，布置时需考虑运行人员的操作检修便利，将二级减压阀组布置在实验台/柜侧便于操作的高度，靠墙明敷。

设计时需注意氢气、乙炔和氩-甲烷气的管道末端和最高点要设置放空管，该放空管和气体汇流排的放空管均应接出室外，高出屋顶 2 m 以上，并在出口设置阻火器。

气体管道的敷设应遵守从非控制区穿到控制区的原则，如气瓶间接出至监督区或非辐射工作场所的气体管道需绕过控制区，经走道吊顶或室外沿墙布置。

#### 2.1.3 供气系统管道材质

供气管道材质选用 316 L 不锈钢管，焊接连接。供气阀采用 316 L 不锈钢材质，承插焊接连接。

### 2.2 核电站实验室供水系统

#### 2.2.1 供水系统管道布置

核电站厂区实验室设供水系统向实验室内各实验台、洗眼器等提供所需饮用水和中性除盐水。饮用水和中性除盐水接自核电站厂区供水管网，由地下管廊进入实验室厂房。供水管进入厂区实验室地

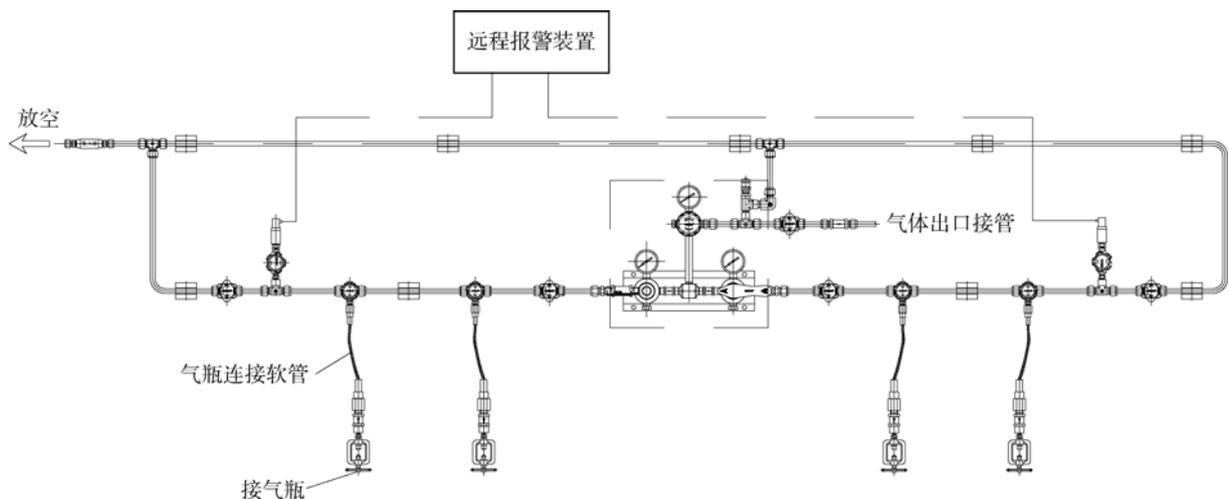


图 2 气体汇流排示意图

Fig. 2 The schematic drawing of gas integral piping

下室后,母管上设减压阀组及计量装置,然后经由管道分配到实验室各个使用点。

### 2.2.2 供水系统管道布置

按照管道只能从非控制区穿到控制区,并不得再穿回非控制区的布置原则,减压后供水管分2路分别敷设到控制区和非控制区用水点,并在供给控制区的管道上设置止回阀,防倒流回非控制区。各层供水管道布置在实验室吊顶内,在用水点处实验台上方穿出吊顶,穿过实验台功能柱暗敷至实验台下方与实验台配套的用水接口连接。

### 2.2.3 供水系统管道材质

中性除盐水管道材质选用304 L不锈钢管,焊接连接。饮用水管道材质则按辐射分区不同选材,控制区内的管道采用304不锈钢管,非控制区内的管道采用PPR管。

## 2.3 供气、供水系统管道设计原则小结

1)工艺管道应为从非控制区穿到控制区,为防止管道从控制区带出辐射污染物,宜将控制区设置为管道敷设的输送终点,不得再穿回非控制区。

2)穿过实验室墙体或楼板的气体管道应敷设在预埋套管内,套管内的管道不应有焊缝,管道与套管之间应采用非燃烧材料严密封堵。

3)氢气、乙炔和氩-甲烷气管道的末端和最高点宜设放空管,放空管上应设置阻火器。放空管应高出屋顶2 m,并应设在防雷保护区内。

4)输送干燥气体的管道宜水平安装。输送潮湿气体的管道应有不小于0.3%的坡度,坡向冷凝气体收集器。

5)氢气管道与其它可燃气体管道平行敷设时,其间距不应小于0.5 m,交叉敷设时其间距不应小于0.25 m,分层敷设时氢气管道位于上方。

6)室内氢气管道不应敷设在地沟内或直接埋地,不得穿过不使用氢气的房间。

7)气体管道采用无缝钢管,气体纯度大于或等于99.99%的气体管道宜采用不锈钢管。

8)气体管道的连接采用焊接或法兰连接,氢气管道不得使用螺纹连接,高纯气体的管道应采用承插焊接。

9)实验室给水管道和排水管道应沿墙、柱、管道井、实验台夹腔、通风柜内衬板等部位布置。

## 2.4 核电站实验室排水系统

### 2.4.1 排水系统分区设计

核电站厂区实验室的排水系统应根据污水的性质、流量、排放规律并结合室外排水条件按分区收集排放的原则设计。以红沿河核电站厂区实验室为例,非控制区各实验室排水的收集后接至厂区电站污水系统排放;控制区各实验室的实验分析时产生的低放废水及地漏水则由“放射性废水回收系统”收集、送往核岛废液处理系统。

### 2.4.2 放射性废水回收系统(SRE)工艺流程

控制区各实验室汇集的低放废水及地漏水通过排水管网进入布置在地下室的废水收集箱,再通过重力自流至废液疏水箱,最后通过废液输送泵经地下管廊送往核岛废液处理系统。

当水箱排污、清洗或满水溢流时,废液流入设在地下室的地坑;当设备管道、发生泄漏时,废液也可通过低放废液储存输送间内的排水沟直接流入地坑。该工况下由地坑泵将废液输送回废液疏水箱或直接送往核岛废液处理系统。

泵出口有回流管,可以对收集箱内液体进行搅拌,以便于对混合液进行取样分析。

放射性废水回收系统工艺流程,如图3所示。

### 2.4.3 放射性废水回收系统的控制原则

放射性废水回收系统(SRE)按自动运行设计。废液输送泵的启停由废液疏水箱的液位自动控制,地坑泵的启停由地坑的液位自动控制,高液位时开泵,低液位时停泵。同时就地设按钮可手动控制泵的启停。系统的控制通过就地控制盘PLC实现,并向全厂DCS提供相应报警和状态信号;废液疏水箱到达高高液位、地坑达到高高液位时向DCS报警;PLC就地控制柜丧失电源时向DCS报警;同时DCS能监测到AL废液输送泵、地坑泵的运行状态。

### 2.4.4 放射性废水回收系统设备管道布置

放射性废水回收系统的设备和控制室布置在实验室厂房地下层“低放废液贮存输送间”和“SRE系统控制室”。

收集废水的排水管道的布置在实验室楼板下方的吊顶内,按自流设计,管道按坡度0.5%敷设。管道之间的连接采用45°斜三通或45°弯头,以保证排水水流顺畅。

收集后的废水系统管道、阀门、控制元件等集

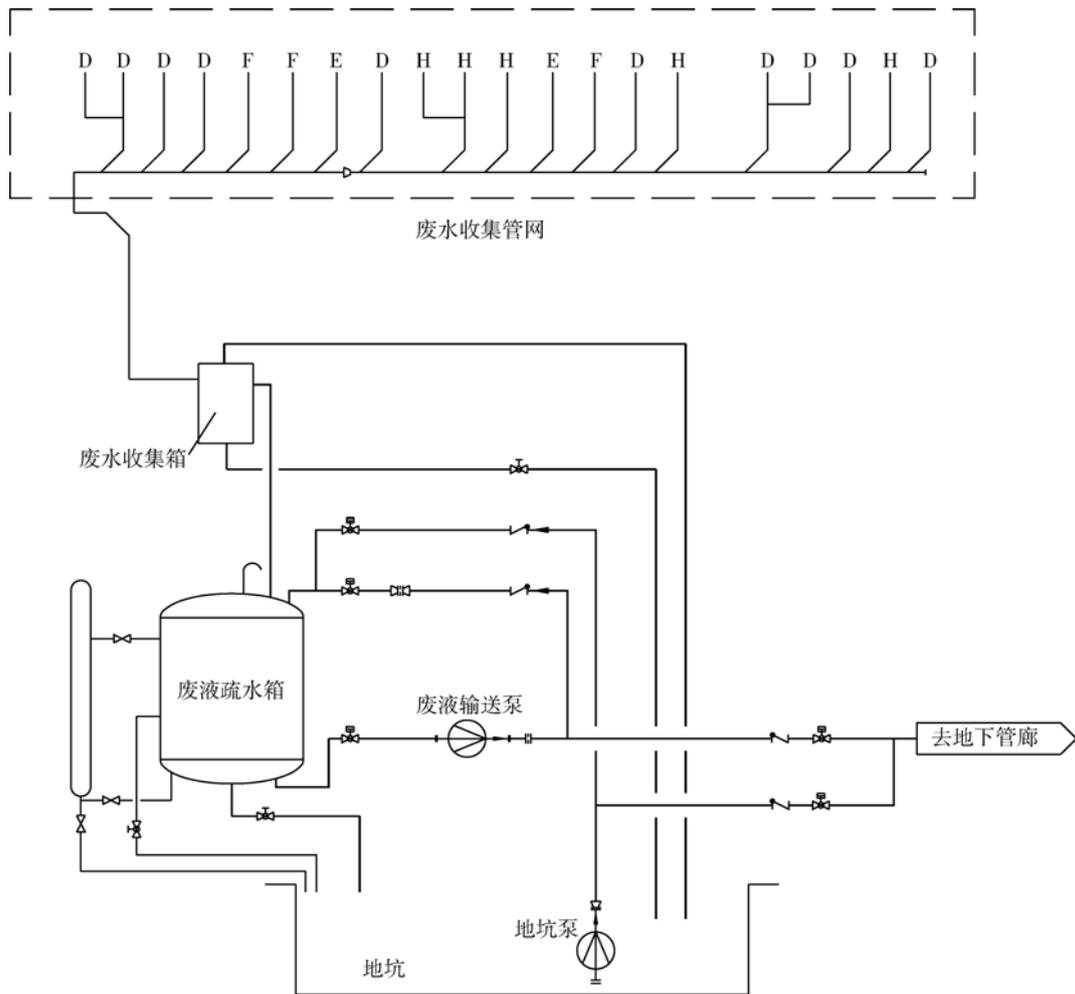


图 3 放射性废水回收系统 (SRE) 工艺流程图

Fig. 3 Flow diagram of being slightly radioactive-sewage recovery system.

中布置在低放废液贮存输送间，最终出口管通过地下管廊接出实验室厂房。

#### 2.4.5 排水系统管道材质

考虑到放射性废水回收系统收集和输送的是放射性废液，因此所有的设备、管道都采用不锈钢，并且为了防止废液的泄露，管道连接处尽量采用焊接(且宜采用对焊连接)。泵的进出口采用法兰连接，以方便泵的维修。

非控制区各实验室排水管道采用 PE 材质。

### 3 结论

综上所述，核电站厂区实验室的厂房布置和辅助工艺系统设计，应根据化验室承担的分析样品来源及化学分析项目的特点进行。

1) 实验厂房布置应综合考虑工艺需求和辐射分

区的特点，按布局合理、通行和工作联络方便，互不干扰的原则进行设计。

2) 在进行工艺管道布置设计时，应按辐射分区的设置，遵守相关设计规定，防止管道从控制区带出辐射污染物。

3) 设计配套公用排水系统时，应根据核电厂控制区实验室的排放废水可能含有低放射性的特点，单独设置放射性废水回收系统。

#### 参考文献：

[1] 中国科学院北京建筑设计研究院. 科学实验室建筑设计规范: JGJ 91—93 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993.  
Institute of Architecture Design and Research, Chinese Academy of Sciences. Design code for scientific experiment buildings: JGJ 91—93 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1993.

- [2] 王跃斌. 核电站化学实验室筹备建立 [J]. 中国石油和化工, 2016(增刊1): 108.  
WANG Y B. The prepare and building of the chemical site laboratory in nuclear power plant [J]. China Petroleum and Chemical Industry, 2016(Supp. 1): 108.
- [3] 荣丹, 田浩. 核电站厂区实验室采购管理分析 [J]. 经贸实践, 2016(1): 278.  
RONG D, TIAN H. The purchase and management the site laboratory in nuclear power plant [J]. Economic & Trade, 2016(1): 278.
- [4] 郑文棠, 程小久. 我国低中放废物处置相关问题研究 [J]. 南方能源建设, 2014, 1(1): 75-82.  
ZHENG W T, CHENG X J. Research on related problems of low and intermediate level radioactive waste disposal in China [J]. Southern Energy Construction, 2014, 1(1): 75-82.
- [5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 氢气使用安全技术规程: GB 4962—2008 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.  
General Administration of Quality Supervision and Quarantine of the People's Republic of China. Technical safety regulation for gaseous hydrogen use: GB 4962—2008 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [6] 国家核安全局. 核电厂放射性排出流和废物管理: HAD 401/01 [S]. 北京: 国家核安全局, 1990.
- [7] 中国核工业总公司. 开放型放射性物质实验室辐射防护设计规范: EJ 380—89 [S]. 北京: 中国核工业总公司, 1989.
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 电离辐射防护与辐射源安全基本标准: GB 18871—2002 [S]. 北京: 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 2002.  
General Administration of Quality Supervision and Quarantine of the People's Republic of China. Basic standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources: GB 18871—2002 [S]. Beijing: General Administration of Quality Supervision and Quarantine of the People's Republic of China, 2002.
- [9] 国家能源局. 压水堆核动力厂厂内辐射分区设计准则: NB/T 20185—2012 [S]. 北京: 原子能出版社, 2013.  
National Energy Administration. Design criterion of radiation zoning inside of the PWR nuclear power plant: NB/T 20185—2012 [S]. Beijing: Atomic Energy Publishing House, 2013.
- [10] 李庆华, 王晓江. 厂区实验室工艺设计准则研究 [C]//中国环境科学学会. 第五届绿色财富(中国)论坛会刊, 北京, 2010. 北京: 中国环境科学学会, 2010: 532-537.
- LI Q H, WANG X J. Research on process design criteria and objectives of site laboratory [C]//Chinese Society for Environmental Sciences. The Fifth Eco-Fortune (China) Forum, Beijing, 2010. Beijing: Chinese Society For Environmental Sciences, 2010: 532-537.
- [11] 中华人民共和国住房和城乡建设部/中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 核电厂常规岛设计防火规范: GB 50745—2012 [S]. 北京: 中国计划出版社, 1989.  
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China General Administration of Quality Supervision and Quarantine of the People's Republic of China. Code for design of fire protection for conventional island in nuclear power plants: GB 50745—2012 [S]. Beijing: China Planning Press, 1989.

#### 作者简介:



FAN X M

范晓梅(通信作者)

1969-, 女, 广东汕头人, 高级工程师, 食品工程专业学士, 主要从事电厂化学设计工作 (e-mail) fanxiaomei@gedi.com.cn。

#### 项目简介:

**项目名称** 核电站中低放三废处理关键技术研究(EV03441W)

**承担单位** 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司

**项目概述** 放射性废物蒸汽重整处理技术对可降解的放射性固体废物具有较高的减容系数, 可实现有机废物的无机化降解, 使放射性物质稳定, 腐蚀性降低, 便于长期存放, 综合技术性能和经济性能得到核电业界的高度认可, 并有成熟的国际运行经验。项目针对当前我国处理放射性废液和固体废物存在的问题, 研究引进美国 Energy Solution 公司蒸汽重整放射性废物处理技术和装备, 依托核电厂三废处置项目的工程实践, 达到核电站中低放三废整套工艺技术的成功应用。

**主要创新点** (1)放射性废物蒸汽重整工艺和控制系统; (2)主要装置的技术机理、设备结构和材料应用技术; (3)放射性厂房的设计技术; (4)放射性检测、监控和防护技术设计。

(责任编辑 郑文棠)