



# 滨海核电大件码头用于乏燃料运输的改造内容

郑宇<sup>1</sup>, 张延辉<sup>2</sup>, 张建鑫<sup>1</sup>, 付博新<sup>2</sup>, 耿杰哲<sup>3</sup>, 杨明<sup>1</sup>, 潘亚兰<sup>1</sup>, 陈江涛<sup>1</sup>

(1. 中广核铀业发展有限公司, 北京 100029; 2. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007;

3. 交通运输部水运科学研究院, 北京 100082)

**摘要:** 海运在内的多模式联运体系是未来乏燃料外运的发展方向。我国滨海核电厂在初期就规划、设计和建设了用于运输核电厂大件设备的码头, 多模式联运体系可利用核电码头转运乏燃料。为满足乏燃料转运需要, 经调研和分析, 结合船舶靠离泊等条件进行综合评价, 梳理出核电码头的改造内容。结果表明, 各核电业主应聚焦核材料实物保护、船舶靠离泊条件、货包接卸工艺等方面, 围绕码头平面尺度及结构、作业工艺、辅助生产设施和管理体系等内容开展核电大件码头的改造工作, 以确保未来乏燃料能够及时外运。

**关键词:** 乏燃料海运; 滨海核电厂; 码头; 改造

中图分类号: U 656.1<sup>1</sup>39

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)03-0088-04

## Modification content of heavy cargo wharf at coastal nuclear power plant for spent fuel transportation

ZHENG Yu<sup>1</sup>, ZHANG Yan-hui<sup>2</sup>, ZHANG Jian-xin<sup>1</sup>, FU Bo-xin<sup>2</sup>, GENG Jie-zhe<sup>3</sup>, YANG Ming<sup>1</sup>, PAN Ya-lan<sup>1</sup>, CHEN Jiang-tao<sup>1</sup>

(1. CGNPC Uranium Resources Co., Ltd., Beijing 100029, China;

2. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China;

3. China Waterborne Transport Research Institute, Beijing 100082, China)

**Abstract:** Including transportation by sea, the multi-modal system is the future direction of spent fuel transportation. In the early stage of construction, coastal nuclear power plants have planned, designed and built heavy cargo wharf for large equipment transportation. Spent fuel can be transferred from the heavy cargo wharf in the multi-modal system. In order to satisfy the requirement of transferring spent fuel, we combine with the berthing and unberthing conditions of ships to carry out the comprehensive evaluation, sort out the modification content of nuclear power plant wharf after investigation and analysis. The results show that nuclear power plants should focus on physical protection of nuclear materials and ship berthing conditions and package loading technology to carry out modification of wharf by centering on wharf plane scale and structure, operation technology, auxiliary production facilities, and management system. To ensure that spent fuel can be shipped out on time in the future.

**Keywords:** spent fuel transportation by sea; coastal nuclear power plant; wharf; modification

装机容量为 1 GW 的轻水堆核电机组平均每年卸出 20 tHM 的乏燃料<sup>[1]</sup>, 乏燃料一般在堆冷却 8 年就应安排外运。截至 2020 年 4 月, 我国有 48 台核电机组在运, 装机容量达 48 GWe, 均分布在沿海地区; 至 2018 年累计产生核电站乏燃料将

近 6 000 tHM<sup>[2]</sup>, 我国核电厂乏燃料外运需求已较大。我国拥有乏燃料公路运输能力, 由于乏燃料运输的特殊安全要求, 以及目的地西北地区的气候特点和国家管理要求, 乏燃料每年运往西北的时间窗口较小, 事实上的有效运输时间不到半年,

运量仅为 50 tHM/a。虽然公路运输前期投资少,可实现“门到门”服务,且沿途不需要换装,但是未来我国商用后处理设施建成后,总计每年将向各后处理设施运送上千吨乏燃料,公路运输增加运量的话,对沿途干扰极大,造成的影响较大,公路运输已远远不能满足当前的核电厂乏燃料离堆运输需求<sup>[3]</sup>。

参考国际上的经验,乏燃料外运的方式还有公铁联运、公海联运以及公海铁联运这 3 种。综合考虑公路、铁路以及水运的特点和优劣势,基于我国交通运输条件,现阶段实施乏燃料公海铁多模式联运能够满足我国滨海核电站乏燃料安全运输的需求,打通我国乏燃料海运路线具有现实意义。考虑到在乏燃料转运过程中,货包托运人可以借助核电厂现有的辐射防护、安保、消防等力量,国内相关部门倾向于直接使用核电厂自备码头转运乏燃料货包,而不考虑硬件条件更好的社会码头,所以核电自备码头是海运路上的关键环节。

核电码头应同时按照水运行业及放射性物品运输行业法规和规范要求梳理软、硬件差距,开展码头改造方案制定和工程改造工作。本文参考国外相关经验和国内相关法规要求,分析在乏燃料转运过程中,核电业主应注意的关键问题,并对码头改造内容提出建议,为后续新核电厂码头建设和老旧核电厂码头改造标准的建立提供参考。

## 1 我国核电码头现状

国内滨海核电厂大件码头是整个核电厂海域工程的一部分。核电厂整个海域工程设计主要依据核安全法规要求,如 HAD101 系列标准,同时参考 JTS 165—2013《海港总体设计规范》及 NB/T 25002—2011《核电厂海工构筑物设计规范》等。核电厂大件码头在设计和建设之初就考虑了对厂内运输道路及核电厂取、排水口的影响<sup>[4]</sup>,核电码头转运乏燃料货包具有一定的先天优势。

核电大件设备具有数量和种类多、结构复杂等特点,单台机组的大件数量就近 200 件<sup>[5]</sup>,一

般情况下滨海核电站码头设计接卸船型不小于 3 000 吨级,在合理控制投资的情况下,尽量兼顾多船型靠泊<sup>[6]</sup>。目前我国已建成或正在建设中的核电厂重件码头大多为 3 000 吨级或 5 000 吨级,装载大件货物的船型一般为甲板驳船。甲板驳船具有吃水浅、干舷低的特点,一般无动力,辅以拖轮航行和靠泊。

根据实地调研结果,除大亚湾码头外,各核电码头均配备装卸设施,具有一定的货物起吊能力,具备乏燃料海运的基本条件。但是,核电自备码头还存在一些值得注意和需要解决的问题:

- 1) 核电码头允许停靠的船只多为驳船,建议待我国乏燃料运输专用船舶建成并对外公布主尺度后,各核电厂须评估码头平面尺度及结构条件的现状能否满足乏燃料运输船的靠离泊需求;
- 2) 码头缺少监控、照明和实体围栏等,绝大多数核电码头缺少核材料转运所要求的安保措施;
- 3) 码头缺少岸电装置,2018 年发布的《交通运输部关于印发船舶大气污染物排放控制区实施方案的通知》进一步加强了船舶靠港停靠期间的大气污染物排放要求,核电码头均未配备岸电设施。

## 2 我国滨海核电站自备码头改造内容

乏燃料与常规货种相比,主要区别在于具有放射性,而乏燃料的核安全由乏燃料容器确保,货包表面放射性水平较低。在乏燃料运输过程中,除重点关注作业人员辐射防护问题外,与常规货种的运输无其他差异,对码头的硬件条件无特殊要求。

国际上,英国、法国和日本均使用了条件较好、配套较成熟的公共码头用于乏燃料及后处理产品的集散和转运。这些码头主要有 3 个特征:1) 码头均具备符合要求的固定式起重设备;2) 船舶在港作业期间,码头进行封闭式管理;3) 码头对作业人员的受照剂量进行监督和控制<sup>[7-11]</sup>。特别是日本的经验值得借鉴:日本直接使用核电厂码头转运乏燃料,日本的滨海核电站自备码头均满足 INF III 级乏燃料专用船的靠离泊作

业需求<sup>[12]</sup>；而且日本国内的乏燃料运输情况与我国未来乏燃料海运情况十分相似——将滨海核电厂的乏燃料由专用船收集并运至指定码头；日本乏燃料运输船“Rokuei-Maru”号为日本国内使用的专用船，为近海航行使用<sup>[13-14]</sup>，我国专用船的设计和建造可对其进行参考。

我国现有滨海核电站自备码头主要服务于电厂建设期间所需大件的运输，未考虑乏燃料等特殊货种的运输，码头的现状各不相同。参照国外乏燃料货包转运码头的技术特征，同时根据国家《港口危险货物安全管理规定》、GB 11806—2019《放射性物品安全运输规程》等法规、标准的要求，未来我国核电厂码头改造应重点关注以下方面：1) 码头平面尺度、结构是否满足船舶靠离泊需求；2) 码头作业条件是否满足货包装卸要求，即作业工艺的要求；3) 码头辅助生产设施是否满足安保、辐射防护等要求；4) 码头的应急预案、管理制度、操作规程等管理体系的制定和完备，软件方面满足危险货物安全运输和管理要求。

## 2.1 码头平面及结构改造内容

### 2.1.1 码头前沿设计底高程

根据 JTS 165—2013《海港总体设计规范》5.4.12.1 条：复核原码头前沿设计底高程是否满足乏燃料专用运输船舶的靠泊要求。不满足时，应对码头前沿水域进行浚深。同时应评估码头前沿水域浚深对码头结构安全的影响，并采取必要的加固措施。

### 2.1.2 泊位长度

根据 JTS 165—2013《海港总体设计规范》5.4.21.2 条：复核原泊位长度能否满足乏燃料专用船的靠泊要求。不满足时，应采取措施延长泊位长度，如新建系缆墩、靠船墩等。

### 2.1.3 停泊水域宽度

根据 JTS 165—2013《海港总体设计规范》：复核原码头停泊水域宽度是否满足乏燃料专用运输船舶的靠泊要求。不满足时，应进行拓宽。

### 2.1.4 港池及航道尺度

根据 JTS 165—2013《海港总体设计规范》：

复核港池、航道是否满足乏燃料专用运输船舶的进出港及靠离泊要求。不满足时，应进行拓宽浚深。考虑乏燃料的运输频率较低，建议乏燃料运输船舶到港前，对港池和航道进行扫测，明确水深条件是否满足船舶进出港要求，保证通航安全。

此外，为了最大限度保证乏燃料运输的安全性，考虑到船舶乘潮进出港和极端天气影响，应考虑设置乏燃料运输船的专用锚地，供船舶抛锚候潮、避风等。

## 2.1.5 其他水工改造内容

应对码头结构的安全性和码头现有的附属设施进行复核，如系船柱、护舷等。不符合要求的部分，后续应进行相应的改造，以满足船舶的安全靠泊要求。

## 2.2 作业工艺改造内容

根据 2019 年出台的《乏燃料货包多式联运接口技术要求（暂行）》4.4 装卸要求：“乏燃料货包的码头装卸和铁路装卸原则上应采用轨道式或固定式装卸设备，装卸设备应按额定负荷降低 25% 使用，并设置起重质量限制器。如确实无法采用轨道式或固定式装卸设备，使用其他装卸设备时应确保其装卸作业安全；风速大于 15 m/s 时，应停止乏燃料货包的吊运作业。”同时，该文件 4.2.2 条还规定了乏燃料货包的质量不大于 130 t。

码头用于货包装卸作业的起重机有效起重能力应达到 180 t。码头吊机应保证在船舶货舱全覆盖的情况下，其回转半径和起升高度内的任何位置都能够保证 180 t 的起重能力。应对码头现有起重机的起重能力进行评估，如不满足要求，则需要对现有吊机进行改造或考虑其他起重作业方式，比如使用地面移动式起重设备（如汽车吊）或者海上浮吊。

此外，码头作业吊机需要安装视觉防摇装置，以保证乏燃料货包在吊装过程中的安全。基于视觉的智能防摇技术是通过识别跟踪吊钩摆动的轨迹，计算其摆动的幅度和角度，实时控制并调整起重加减速度，减小货包在吊运过程中的摆动，

使起重机的吊运过程更加快速、安全且平稳。

### 2.3 辅助生产设施改造内容

#### 2.3.1 实物保护系统

我国尚未出台专门针对乏燃料运输的安保条例,建议码头安保暂对照《放射性物品运输安全管理条例》《中华人民共和国港口设施保安规则》《港口设施保安设备设施配置及技术要求》《放射性物质安全运输规程》等执行。

核电码头应采取封闭式管理,在码头入口设置隔离护栏、大门、门卫室、电子门禁系统、人车分流通道等,实现对车辆和人员的识别、控制和信息管理,防止无关人员进入;码头应配备手持式金属探测器、防爆桶或防爆毯、车底检查镜、车辆检查系统和生命探测仪等设备;码头应配置视频监测系统、防入侵探测系统,在码头前沿及入口处等区域设置彩色高清视频监控摄像机,能够清晰有效地探测到现场的图像,能够清晰显示车牌号码以及人员正面面部特征的有效画面。

此外,码头还应配备必要的通信设备、标识和标志,乏燃料货包在码头区域作业时,应有安保人员站岗守卫。

#### 2.3.2 供电照明系统

建议核电码头根据乏燃料运输专用船舶的电压等级对供电系统进行升级改造,增加岸电设施,具体参考JTS 165—2013《海港总体设计规范》等相关规范,对码头供电系统进行升级改造,以确保为码头未来正常供电需求和供电安全;建议参考JT/T 1214—2018《港口高杆灯通用技术要求》、JT/T 557—2004《港口装卸区域照明照度及测量方法》和GB 50582—2010《室外作业场地照明设计标准》,对码头照度进行检测核实,如不满足要求,须加装照明设施,并设置相应的防雷保护装置。

#### 2.3.3 消防与救生系统

码头应配置灭火器材和消防栓;同时应配置相应的救生器材。建议码头前沿规划适当的消防救生器材存放点,配置相应数量的消防和救生器材。可以参考GB 50140—2005《建筑灭火器配置

设计规范》,对消防设备的覆盖范围进行评估检测。

此外码头应依托核电厂现有资源,配备 $\gamma$ 剂量率仪、 $\alpha$ 、 $\beta$ 表面污染仪、中子当量剂量率仪、热释光个人剂量计、防护用品、擦拭样布、乳胶手套等,监测作业人员受照剂量,并为码头现场工作人员建立个人剂量档案和职业健康监护档案。

### 2.4 码头安全管理体系建设

根据《安全生产法》《港口法》《港口危险货物安全管理规定》等相关法律法规,开展危险货物作业的码头,港口经营方必须建立相应的安全管理组织机构、制定完善的应急预案、制定安全管理制度及操作规程、加强人员安全教育及培训工作,以建立与危险货物码头作业安全相适应的安全管理体系。

## 3 结语

1) 公路运输已满足不了未来日益增长的核电站乏燃料外运需求,包含公路、铁路、海路在内的多模式联运才是未来乏燃料外运的发展方向,而核电码头将是关键环节。

2) 我国滨海核电码头的设计和建造没有统一标准,为满足乏燃料的转运要求,须梳理软、硬件差距,开展改造工作。

3) 核电码头改造应主要围绕平面尺度及结构、作业工艺、辅助生产设施和管理体系这4个方面开展。

## 参考文献:

- [1] 洪哲,赵善桂,张春龙,等.我国乏燃料离堆贮存需求分析[J].核科学与工程,2016,36(3):411-418.
- [2] 张琦.关于加快发展核电站乏燃料后处理的建议[J].研究与探讨,2019,41(1):44-47.
- [3] 张震,张俊,王海良,孙等.滨海核电厂大件码头用于乏燃料海运的可能性探讨[J].中国港湾建设,2018,38(11):9-13,18.
- [4] 张俊,李秀英,杨云兰,等.滨海核电厂海域工程总平面布置设计要点[J].水运工程,2014(2):130-135.