

文章编号：0258-0926(2015)S1-0024-02；doi：10.13832/j.jnpe.2015.S1.0024

# 4D 模拟在核岛主回路设备安装中的应用

郭新维，刘 瑜，满晓宇

台山核电合营有限公司，广东台山，529228

摘要：为了降低台山核电核岛主回路设备“空中翻转”及“倾斜就位”全新施工工艺首次应用中的潜在风险，探索出一种核岛主回路设备安装模拟方法，实现了对主回路设备安装的动态模拟、施工工艺验证，以及设备与土建结构的碰撞检查和间距量化，并成功应用于 1 号机组压力容器及稳压器等核岛主回路设备安装。

关键词：CEPR；核岛主回路安装；动态模拟；碰撞检查  
中图分类号：TM353 文献标志码：A

## Application of 4D Simulation in the Installation of Nuclear Island Primary Loop Equipment

Guo Xinwei, Liu Yu, Man Xiaoyu

Taishan Nuclear Power Joint Venture Co. Ltd., Taishan, Guangdong, 529228, China

**Abstract:** In order to minimize the potential risks during the first time application of new erection technology of “flip in the air” and “inclined introduction” for the nuclear island primary loop equipment, this paper presents a new approach of simulation to be used for the nuclear island primary equipment erection, which can perform dynamic simulation and process verification for primary equipment erection, and carry out collision inspection and space quantification between the equipment and the civil work structure of nuclear island building, and has been successfully applied for the installation of nuclear island primary equipment such as reactor vessel and Pressurizer.

**Key words:** CEPR, NI primary loop component installation, Simulation, Collision check

### 0 引言

台山核电厂 1 号机组是国内首台第三代欧洲压水堆（CEPR）核电机组，采用全新的厂房结构和工艺系统布置，反应堆厂房布置紧凑，空间狭小。因此，CEPR 核岛主回路设备安装面临吊装难度大，施工工艺复杂的难题，主要体现在：CEPR 核岛主回路设备蒸汽发生器及稳压器无法垂直吊装就位，需采用“空中翻转”及“倾斜就位”的全新施工工艺；CEPR 核岛主回路设备在引入过程中与土建结构的间距较小（压力容器与堆腔水池最小间距仅约 67 mm），碰撞和干涉的风险较大。

为了保证首次 CEPR 核岛主回路设备安装一次就位成功，在安装前对 CEPR 核岛主设备全新施工工艺进行验证，对设备与土建结构进行碰撞检查和间距量化就很有必要。

### 1 总体思路和目标

台山核电核岛主回路安装 4D 模拟是以 Solidworks 软件为基础，将核岛土建厂房结构及核岛主回路设备的 3D 模型通过添加第 4 个维度——时间轴的方式与施工工艺相关联，动态模拟施工过程，以期实现如下功能：动态模拟核岛主回路设备引入、吊装、就位的全新施工工艺过

程；对全过程进行碰撞检查，以验证全新施工工艺的可行性和合理性；识别全过程的设备与土建结构的关键接口尺寸并量化；优化施工方案。

## 2 实施方案

由于核岛厂房结构、核岛主设备以及工作机具结构复杂，按照模块化思路进行，同时在模型建立之初需考虑动态模拟中需要调用的约束关系，更加合理地进行组装及关系定义。

### 2.1 模型建立

为最大限度地反映设备吊装、就位过程的实际情况，模型建立均按照上游设计文件的尺寸 1:1 完成。主要模型包括：反应堆厂房、燃料厂房、环吊、压力容器、蒸汽发生器、稳压器、主管道、环吊、临时提升装置(TLD)、外部提升装置(OLS)以及各种专用工具等。

### 2.2 模型组合及位置关系定义

(1) 将核岛反应堆厂房模型、燃料厂房模型及土建设备闸门按照图纸的相对位置进行约束。

(2) 将反应堆厂房环吊、反应堆厂房临时提升装置及外部提升装置与土建结构的相对位置，建立与核岛主回路设备吊装、就位相关的土建结构的关系，实现上述吊装工具的起升、旋转等功能。

(3) 将核岛主回路设备垂直支撑模型就位在反应堆厂房+1.5 m 平台。

(4) 将核岛主回路设备各部件模型建立位置约束，并添加专用吊装工机具，生成组合文件，实现工机具与设备的联动，便于在模拟阶段进行操作。

### 2.3 动态模拟

按照核岛主回路设备施工工艺步骤，通过 Solidworks 软件在设备引入过程中若干个典型位置点的状态定义为时间轴上的关键帧，然后将一系列关键帧进行串联，形成完整的设备吊装、引入及就位过程的动态模拟。

### 2.4 碰撞检查及间距的识别量化

对各施工工艺阶段设备与土建结构或其他设备进行碰撞检查和间距测量，识别和确定在设备引入过程中的潜在碰撞点和风险点，并将此风险点定义为关键接口。本项目实现了对关键接口位置的碰撞检查和间距的量化，表 1 中摘录了压力

容器等主设备引入时潜在风险点和最小间距的量化数据。

表 1 主设备引入路径接口清单  
Table 1 List of Interface for Primary Components Introduction

设备名称	接口位置/mm	最小间距/mm
压力容器	17	67
蒸汽发生器	25	81
稳压器	26	26

以稳压器为例介绍“碰撞检查”及“间隙验证”的应用。

(1) 利用 Solidworks 软件中的“干涉检查”功能<sup>[1]</sup>，发现稳压器在就位在稳压器房间过程中，稳压器与+20.7 m 横向支撑发生干涉。

(2) 利用 Solidworks 软件中“间隙验证”功能<sup>[1]</sup>，识别出在+20.7 m 横向支撑不安装时，稳压器支撑与+20.7 m 板最大间距 26 mm。

## 3 方案优化

通过软件模拟，清晰直观地呈现大型设备吊装、翻转、就位过程，同时对方案的可行性作进一步分析和优化。

对于识别出的关键接口位置，在实际设备引入过程中进行专人重点监控；对于间隙过小的、风险较大的位置采取必要的措施，增加间距，降低意外风险。

对于识别出的潜在干涉位置，对设备引入路径和逻辑进行优化，如：稳压器+20.7 m 横向支撑与稳压器发生干涉，+20.7 m 横向支撑的安装安排在稳压器引入后进行。

## 4 结束语

台山核电厂 1 号机组压力容器、蒸汽发生器、稳压器等核岛主回路设备的引入均实现一次就位成功得益于施工前充分的技术准备，同时借助于 4D 模拟反复对设备引入的不同位置和角度进行尝试，寻找到“空中翻转”及“倾斜就位”关键施工工艺的最佳位置。该模拟方法的成功应用为 CEPR 核岛主回路安装提供重要参考和工程借鉴。

参考文献：

- [1] 辛文彤, 李志尊. Solidworks 2012 从入门到精通 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2013.

(责任编辑: 刘胜吾)