

核电厂机械模块选定及布置原则研究

陈兴

中广核工程设计有限公司

DOI:10.12238/pe.v2i2.7623

[摘要] 基于对核电厂机械模块特点的分析,研究核电厂机械模块设计与系统设计之间的关系,总结机械模块选定及布置原则,并通过实验样机的模块化设计进行验证。模块化的建造方法可促进工艺设备和系统的产业化推广,适用于核电工程的技术改进和后续新堆型的研发,可缩短核电站建设周期,降低建造成本。

[关键词] 模块化技术; 机械模块; 模块选定及布置原则

中图分类号: F407.42 **文献标识码:** A

Study on the selection and arrangement principles of mechanical modules in nuclear power plant

Xing Chen

CGN Engineering Design Co., LTD

[Abstract] Based on feature analysis of mechanical modules in the nuclear power plants, the relationship between mechanical modules design and system design of nuclear power plants is studied, the principles of the selection and layout of the mechanical modules are summarized, which are verified through the modular design of the experimental prototype. The modular construction method can promote the industrialization of process equipment and system, and is suitable for the technical improvement of nuclear power projects and the research and development of new projects, which can shorten the time limit of nuclear power plants and reduce cost.

[Key words] Modular technology; mechanical module; module selection and layout principle

引言

随着核电站施工领域市场化的推进,核电站业主公司对于缩短建造工期,降低工程造价,提高工程质量的要求也在不断提高。为了达到这一目标,各个核电事业公司不断引进新技术、新工艺,以解决传统核电设计施工对于资源的极大占用问题。从国内外建设经验来看,模块化设计和建造技术可有效缩短工程工期、提高施工质量^[2]。

为了更好研究机械模块设计技术,提高我国核电自主设计能力以及科技创新水平,本文对核电厂机械模块的特点进行分析,结合厂区内的布置情况,对核电厂机械模块的选定及布置原则进行研究,并通过实验样机的模块化设计,对机械模块选定及布置原则进行了验证。本文对于机械模块的选定及布置原则研究能够进一步提高我国的机械模块设计核心能力,并将为后续在建堆型的模块化实施提供理论支持。

1 核电厂机械模块特点分析

机械模块的设计对象为工艺、暖通、电气等专业的机电安装物项,与系统紧密相关。各专业物项按工艺系统要求组装在永久性支撑钢结构框架上,形成可整体运输和吊装的集装块,并可

作为一个单元安装到电厂相应区域,这种以工艺设备为主的集成就是机械模块。

相对于非模块化建造方式,模块化建造技术在现场施工方面的优点在于,为现场施工增加了平行作业,从而缩短了建造工期;同时,使得建造资源的投入更加扁平化,减少了高峰期的资源投入,对施工计划的编排和执行更加有利。另外,在安全 and 质量管理方面,采用模块化的制造方式可以将原本建造环境较差的工作,尤其是高空作业和密闭环境的作业转移到环境较好的车间中进行,有利于工人操作,减少了安全事故的发生;同时,车间的操作环境更有利于质量控制,提高工作质量。

核电机机械模块与传统工业中的单元模块特性相似但又有明显区别。传统的单元模块一般是集成了独立的系统或功能;而核电机机械模块因核电工程规模浩大,庞大复杂的系统难以实现整体工厂制造,所以,核电机机械模块仅为某个或多个系统的一部分,主要满足系统物项高度集成的要求,而难以实现功能的独立性与完整性。

通过对机械模块与系统之间的关系研究发现,在系统总体布置时就对系统物项布置较为密集的区域进行机械模块设计,

同时将机械模块进行区域化、集中化布置能够更好的与开顶式施工进行工程结合,区域内大部分物项都已集成为模块,并一次性吊入安装,可以有效的减少现场工作量,达到缩短建造工期的目标。

另外,值得注意的是,模块化技术在核电工程上的应用是一个系统工程,机械模块的总体规划需要结合厂房设计特点和厂房土建施工特点、施工逻辑等因素进行综合考虑,避开土建施工关键路径上的厂房区域,以免模块施工进度延误影响土建施工的关键路径。同时,如果在土建施工关键路径上的厂房区域内布置的设备、管道适合设计为机械模块,则设计时要对该区域内的安装施工进行综合评估,使其不影响关键路径上的土建施工活动,这样才能实现工期最优化,提高堆型经济性。

2 核电厂机械模块选定及布置原则分析

机械模块设计不是在三维模型的基础上简单地分区划分,而是对工艺接口、施工接口、施工组织以及现场进度控制地有机整合。机械模块设计主要包括:模块区域概选、模块对象定义、模块对象设计、模块运输和吊装设计几个步骤。下文将对核电机机械模块的选定方法进行分析,并提出机械模块的主要布置原则。

2.1 模块区域概选

模块区域概选就是在完成初步设计的核电站三维模型中明确定义模块区域的空间范围,直观地表现出进行模块化设计的空间区域^[3]。

进行模块区域概选应优先考虑布置密集区域、有利于缩短施工区域以及降低成本区域。布置密集区域为设备、阀门布置紧凑,连接管道繁多的区域,在此区域进行模块化设计时,集成的管道、阀门等组件越多,模块化效益越大;缩短施工区域为施工计划密集的关键路径,在此区域进行模块化设计可减小现场多专业交叉施工对工期造成的影响;降低成本区域为现场安装困难或安装位置较高需要脚手架以及其他辅助设施的区域,在此区域进行模块化设计可以有效降低施工成本。满足以上任意两个区域条件的即为适宜模块化施工区域,三个区域条件同时满足的即为最优模块化施工区域。

2.2 模块对象定义

模块对象定义就是从已选定的模块化区域中选择进行模块化设计的对象,区分模块化物项和非模块化物项,以及对模块化物项进行模块划分。模块对象定义方法如下:

(1)将使模块重量和体积大幅提高的物项排除在模块范围之外;(2)在同一模块中应尽可能布置同一安全等级的物项;(3)将有辐射屏蔽要求的物项排除在模块范围之外或设计成独立模块;(4)将对操作维修有特殊要求的物项排除在模块范围之外或设计成独立模块。

2.3 模块对象设计

进行模块对象设计时,需根据工艺要求,结合厂房建筑结构和房间布置条件,将模块内物项的布置进行优化调整,通过钢结构框架使设备和管道紧凑布置,形成能整体吊装和运输的机械

模块。本文在对核电机机械模块技术研究的基础上,总结出以下机械模块布置设计原则:

2.3.1 减少现场安装工作量原则

以一个或数个设备为中心应用模块化技术,并将与其相关的在线设备(阀门或仪表等)和管道紧凑布置,使模块区域本身施工密度增大,降低非模块区域施工密集程度,以减少现场模块区域的施工量。

同时,在系统布置设计时阀门布置比较紧凑,连接管道繁多的区域也可进行模块化设计,使管道连接的工作移至模块化工厂,降低现场工作量,提高施工质量。

2.3.2 缩小辐射屏蔽范围原则

多个需要辐射屏蔽的物项集中布置进行模块化设计,并隔离在较小的封闭空间,以缩小需要辐射防护的空间,降低辐射水平 and 泄漏风险,满足辐射要求(合理可行尽量低)。

2.3.3 降低现场施工难度原则

系统布置设计时,某些区域在靠墙侧或两侧墙之间布置有大量管束,管束区域因管道布置密集,空间狭小,现场施工比较困难。此类区域适宜进行模块化设计,使管件、阀门及附属设施的安装在工厂内完成,实现某些施工可达性较差的在线设备的安装,解决施工困难的问题,保证整体安装的质量,减少现场的施工量。

2.4 模块运输和吊装设计

核电厂机械模块均为工厂制造完成后运至现场进行吊装,因此模块规模受到交通工具及运输道路等条件的限制。另外还应考虑现场起重机械的起重能力及操作半径。机械模块的结构强度应满足运输和吊装的荷载要求,必要时增加临时性支撑以确保模块在运输和吊装过程中的结构完整性。

3 核电厂机械模块设计实例

3.1 硼回收系统脱气装置方案设计

本文选取了核电厂脱气装置作为模块化的实施对象,通过实验样机的模块化设计验证上文所提出的机械模块选定及布置原则。

3.2 模块范围规划

首先根据参考电站资料对脱气装置周边的厂房结构、包含的主要设备、综合布置情况进行分析,综合考虑模块化后该房间的布置密集度、系统的功能要求、对布置和土建结构的影响,以及设计、采购、运输、施工等逻辑关系,基本确定模块的范围。

通过模块范围规划确定脱气装置模块范围包括真空泵,气液分离器,电加热器,出液泵等主要设备及其连接管道、阀门,取样监测装置等所在的区域。按照厂房结构和布置情况,该区域涵盖两个房间,空间大小约为 $6.4 \times 2.5 \times 1.7\text{m}$ 和 $1.3 \times 2.7 \times 1.6\text{m}$ (长 $\times$ 宽 $\times$ 高)。^[1]

由于脱气塔高度过大(不含裙座 6.9m),同时冷凝器需布置在高位与脱气塔塔顶平齐,设备周围物项集中度较低,模块化意义不大,如果做成模块会增加大量钢结构,同时也为运输和安装带来很大困难,故排除在模块范围外。

3.3 模块初步定义

确定模块范围后,以通过评审的工艺流程方案为基础,结合综合布置进展情况,对模块进行定义,确定模块的类型、范围及包含的物项,同时完成模块内各专业物项的三维模型(不包括钢结构框架)。

脱气装置模块范围内包含的物项主要有设备、管道、阀门等,此模块属于设备模块。设备模块是指包含诸如罐、热交换器、水箱、泵等设备的机械模块,使管道、阀门、仪表管、支架等其他部件围绕设备以较高的集成度形成集装块,整体就位于电厂。根据综合布置情况,模块范围内所有设备可集中布置在一个房间中,形成一个高度集成的模块,也可形成两个模块分别布置在相邻房间中。经过方案比选,最终确定将脱气装置分为两个小模块布置经济性较好,灵活性和适用性较高,能达到减少现场工作量和消减现场用工高峰的目的,同时模块的工厂预制为提高安装质量创造了有利条件。

3.4 模块钢结构框架方案设计

模块初步定义完成后,以完成的模块内各专业物项的三维模型为基础,进行模块钢结构框架方案设计。主要是根据设备的主要技术参数(外形尺寸、重量重心等)、管道布置情况和土建结构空间条件、运输吊装要求等,在三维设计平台中构建模块钢结构框架模型,使各专业物项形成一个整体,以清晰表达模块的设计意图,同时将设计完成的模块钢结构框架模型提供给力学专业进行初步力学分析。同时,在此步工作过程中可检查到模块在初步定义时的疏漏并进行必要的修改调整。

模块以设备为中心,通过不同类型的钢构件(工字钢、槽钢和方通)搭建钢结构框架和平台,使设备及其管道的支架在钢结构平台上生根,同时增加必要的支撑,使设备及其管道形成能整体运输和吊装的设备模块。脱气装置模块三维设计成果见图1。

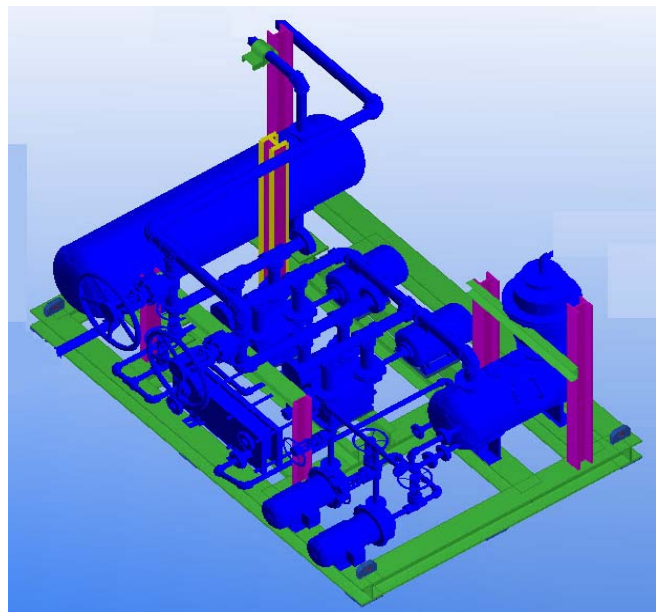


图1 脱气装置模块三维模型

3.5 模块化实施效果评估总体分析

实施模块化建造所产生效果评估可分为直接效果评估和间接效果评估。

针对脱气装置而言,直接效果评估即为该区域内实施模块化建设的工程费用相对于该区域未实施模块化建设工程费用的差异。

间接效果评估是预测完成该单元模块制造、产品推向市场、工程实施对项目的影响,以及本项目完成后所获得知识产权成果产生综合效果进行评估。

3.5.1 直接效果评估

脱气装置模块由真空泵、气液分离器等设备、管道及附件、钢结构、支吊架等组成。在硼回收系统区域内进行模块化施工所产生的费用由模块工厂制造、陆路运输、现场拼装、现场起吊安装四个阶段的费用组成。

未实施模块化费用是指按照传统的建造方法进行设备、管道、型钢等施工物项的采购,并运输至现场进行施工的费用。

实施模块化后,该系统工艺要求所涉及到的设备管道等原件仅区别于组装先后顺序和组装场地,额外增加少量钢结构;且本模块规模较小,等同小型设备,不涉及大型模块额外增加的运输、吊装费用,所以总体增加费用不大。

3.5.2 间接效果评估

实施模块化建造,工作效率大大提高,整体项目建造工期缩短。因此产生的经济效果由于建设期缩短而导致建设期财务利息的节约,从而导致建成价的降低。

实施模块化建造,工程质量提高,从而影响在运营期间修理次数及修理费用,导致项目中各项投资指标降低。因此,质量变化会导致项目盈利能力指标提高。

集约化、标准化、质量高的脱气装置工程样机更容易推向市场,其研究成果的推出同时打破国外技术垄断,降低新建设电站的建设成本,实现设备和系统的产业化,最终形成自主知识产权。

4 结语

自主化模块设计技术的掌握是进行核电工程模块化设计、建造的前提。本文对核电站机械模块选定及布置原则的研究可应用于现有技术堆型的技术改进,以及后续华龙一号新堆型的模块化研发中。模块化建造技术在核电建设走向市场化的过程中有着广阔的发展前景,将成为提升市场竞争力的必然选择。

[参考文献]

[1]林诚格,郁祖盛,欧阳予.非能动安全先进核电厂 AP1000[M].北京:原子能出版社,2008.

[2]郭鹏飞,彭福银,郭洪涛.非能动安全先进AP1000核电厂模块进度控制[J].中国科技信息,2012,(8):81,86.

[3]鲁勤武,柴伟东,韩小萍,等.核电工程模块化设计技术研究[J].核科学与工程,2013,33(03):254-259.

作者简介:

陈兴(1987—),男,汉族,山东省菏泽市人,大学本科,中广核工程设计有限公司,工程师,研究方向:核电厂厂房布置和项目设计管理。