

ITER 中子屏蔽结构的虚拟装配研究

王开松¹, 朱瑞¹, 刘素梅², 鲁明宣²

(1. 安徽理工大学机械工程学院, 淮南 232001; 2. 中国科学院等离子体物理研究所, 合肥 230031)

摘要:国际热核实验反应堆 ITER 计划是一项大型国际合作项目。中子屏蔽结构位于真空室内、外壳之间,其作用是屏蔽中子流、降低环向磁场波纹度。中子屏蔽结构的虚拟装配需要与其设计同时进行,以便指导和改进设计。为了实现其虚拟装配,运用反装思路,通过 DELMIA 创建其拆卸路径来设计并仿真整个装配过程,实时分析其装配间隙,作为对模型进行优化设计的依据。所得结果满足 ITER 国际组对中子屏蔽结构的设计要求,并为结构的实际装配提供了参考依据。

关键词:ITER;真空室;中子屏蔽;DELMIA;虚拟装配

Research on the virtual assembly of In - Wall Shielding for ITER

Wang Kaisong¹, Zhu Rui¹, Liu Sumei², Lu Mingxuan²

(1. Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China;

2. Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Science, Hefei 230031, China)

Abstract: ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) is a large international research cooperation projects. In - Wall Shielding, which is between the outer and inner shells of Vacuum Vessel, is to shield neutron flux and reduce the toroidal field ripple. In order to guide and improve the detail design, the virtual assembly of In - Wall Shielding need to perform in parallel with the design process. To achieve the virtual assembly simulation, based on the inverse assembly methodology, the entire assembly process was designed and simulated by creating disassembly path by using the software DELMIA, and optimize the design model by the dynamic analysis of the assembly gaps. The simulation results achieve the In - Wall Shielding design requirement from the ITER International Group, and will provide reference for the actual assembly.

Keywords: ITER, Vacuum vessel, In - Wall Shielding, DELMIA, Virtual assembly

1 简介

国际热核实验反应堆 ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) 计划是国际科研合作项目之一。真空室为运行的等离子体提供了真空环境,在其内、外壳之间的中子屏蔽结构是为了防止聚变产生的中子流对装置材料、外界环境的影响和辐射^[1],同时流通冷却水,为真空室提供降温。中子屏蔽结构(如图1所示)主要由大量的屏蔽组件(如图2所示)构成,每个屏蔽组件(单元块)基本上由屏蔽板、M30 螺栓、M20 螺栓、止动垫片、上托架、下托架、螺母等组成。根据真空室的结构,总共有 2000 多种类型 8600 个

屏蔽块^[2]。

ITER 中子屏蔽结构的虚拟装配研究是基于 DELMIA 开展的。DELMIA 是法国达索公司出品的具有较强模拟仿真功能的三维设计软件,它以“数字化制造技术”为核心,定义和模拟数字化制造流程的各项功能,重点解决制造过程的仿真问题^[3]。

2 ITER 中子屏蔽结构的虚拟装配

2.1 基本原理

中子屏蔽结构的虚拟装配实质,是按照所设计的装配序列和装配路径,对子装配体及零部件

收稿日期:2012-04-06

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目:ITER 高温超导大电流引线型超导传输线的研究项目(2008CB717906)。

作者简介:王开松,男,博士,教授,从事机械设计及理论的教学和研究工作。

的空间位置连续地进行操作,以达到预期的装配效果,同时将连续操作的过程以动画形式记录下来。本文采用“反装”的思路研究虚拟装配过程,即基于“可拆即可装”的原理,将虚拟环境中的中

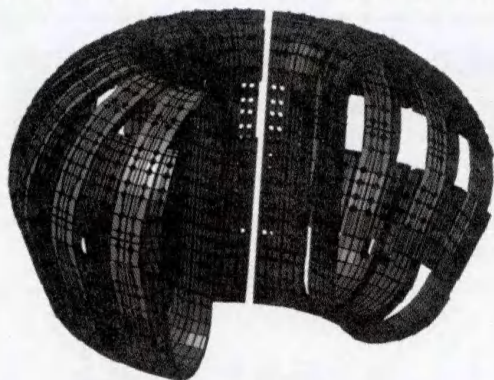


图1 中子屏蔽结构的设计概念

Fig. 1 Concept design of IWS

子屏蔽结构模型从正确的空间位置进行交互拆除,并记录零件从装配体中拆卸的过程,最后将整个拆卸过程“反转倒置”,即可得到装配过程。

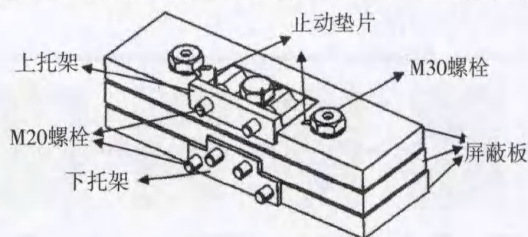


图2 常见的屏蔽块

Fig. 2 General block of IWS

2.2 装配序列的初步规划

装配序列规划是在零部件建模的基础上,对其装配序列进行推理,为零部件设计以及产品最终装配提供依据。根据 ITER 国际组的要求,屏蔽块装配序列流程如图3所示^[4]。

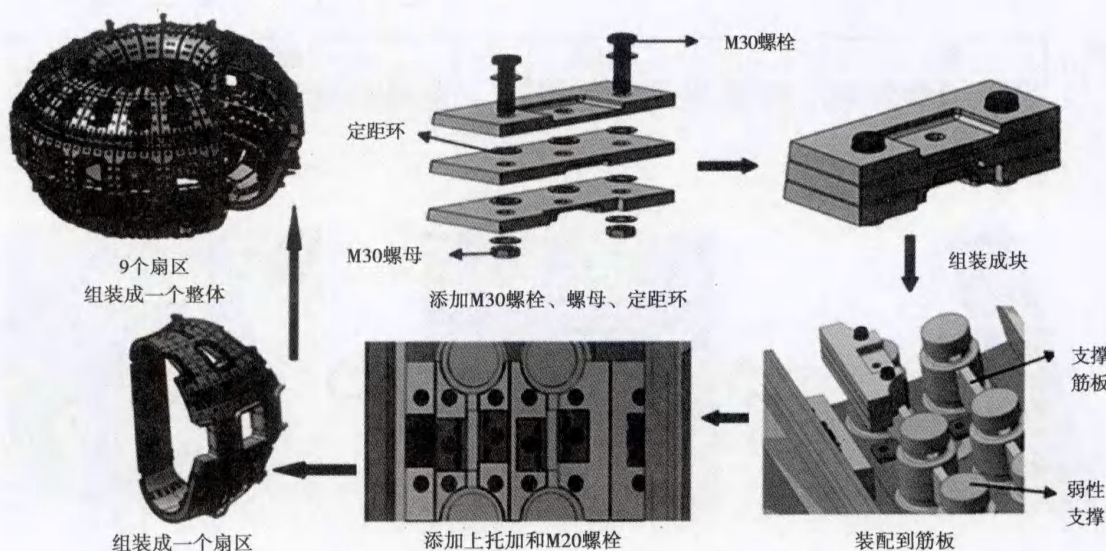


图3 中子屏蔽结构装配序列流程图

Fig. 3 Assembly sequence diagram of IWS

2.3 基于 DELMIA 中子屏蔽结构虚拟装配的具体实现

进入 DELMIA 软件的 DPM Assembly Process Simulation 模块,插入所有中子屏蔽结构的零部件和装配所需的相关工具。在 DELMIA 集成的 PPR 中包括产品库、工艺库、资源库等,产品库包括中子屏蔽结构的零部件、真空室筋板、支撑筋板、真空室壳体等,工艺库包括集成动作和加工方案,资

源库包括行车、夹具等装配所需的工具和虚拟机械人等。

2.3.1 创建动作方案

首先新建一个动作库,将动作添加到 PPR 树上的 Process 节点上,然后将对应的产品和资源链接到每个动作上,激活这些动作,最后用“list unassigned products”命令检查有无产品未链接上。注意每个动作必须有中子屏蔽结构对应的产品或

者资源作为基础。具体的动作包括确定视角、按照所设计的尺寸或角度移动或转动零件及装配体、确定移动速度、转动镜头等。多个动作所得到的数字流程图如图4。

完成动作创建后,可利用 DELMIA 中的 PERT 图对各部件每个动作进行排序,可并行操作的动作并联起来,减少总装配时间,即“项目计划评审技术”。优化后的工序流程如图5所示。

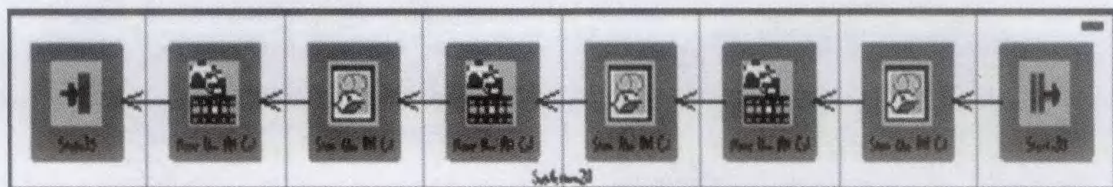


图4 单个动作的数字流程图

Fig. 4 Digital chart of single action

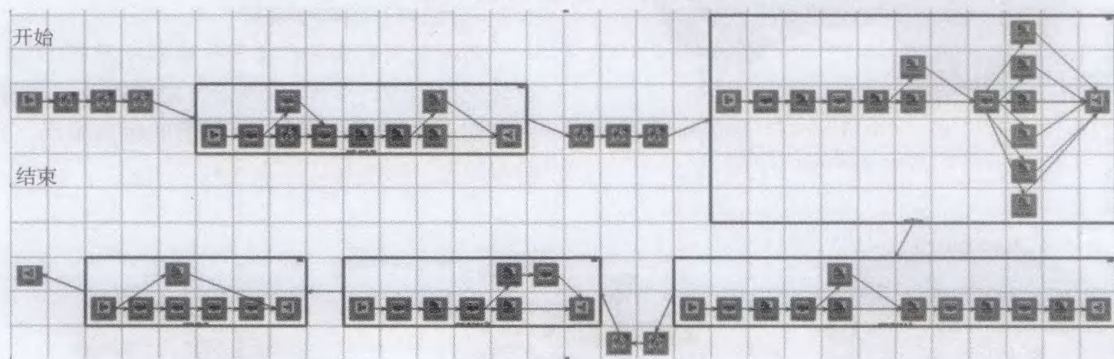


图5 PERT 流程图

Fig. 5 Chart of PERT

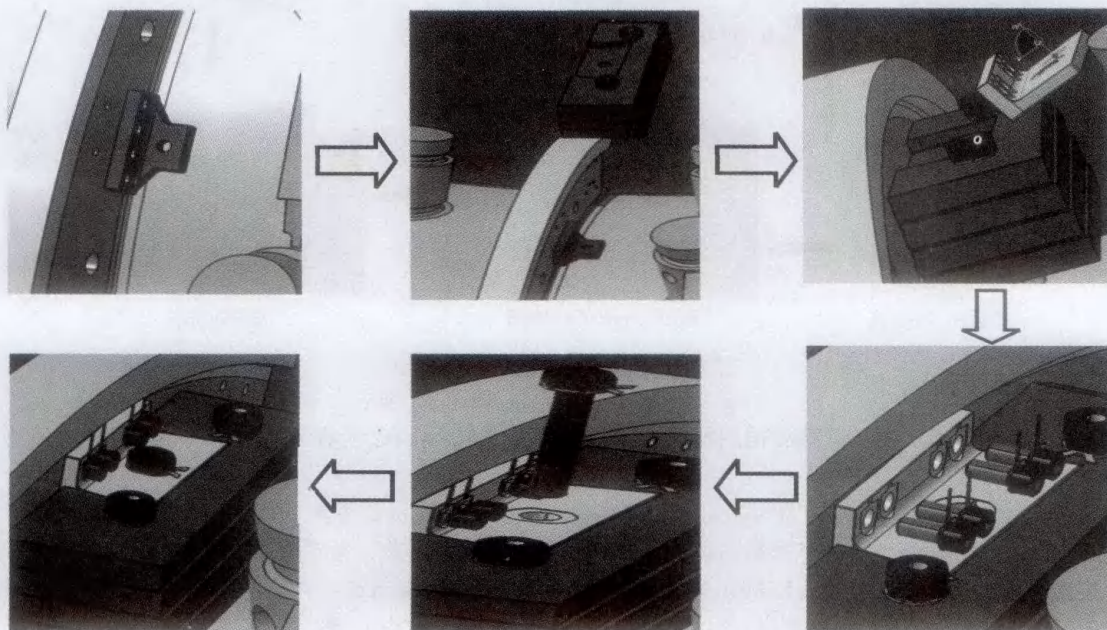


图6 典型的屏蔽块装配顺序图

Fig. 6 Assembly sequence graph of a typical block of IWS

在装配仿真过程中可以对 PERT 图进行修改,调整工序,并可以通过 GANTT 图,以时间刻度图形式形象地表示出工序的活动顺序与持续时间,通过调整关键装配工序的时间来缩短整个装配周期,在仿真的过程中可随时进行修改^[5]。

2.3.2 虚拟装配过程的创建

首先将完成初步设计的模型中的每一个屏蔽块(三至十几块不等)及其相对应的 M30 螺栓、螺母等零部件导入到 DELMIA 中并组装成板块组,并确保每一板块组的装配公差符合设计公差的精度要求。然后开始根据反装的思路,“拆卸”所设计的模型。最终将整个动作倒放,形成的整个装配过程是:首先将下托架安装在筋板上,再将板块组与下托架配合并通过上托架固定在筋板上^[6]。图6是其中一个典型的板块组在筋板上的装配顺序图。

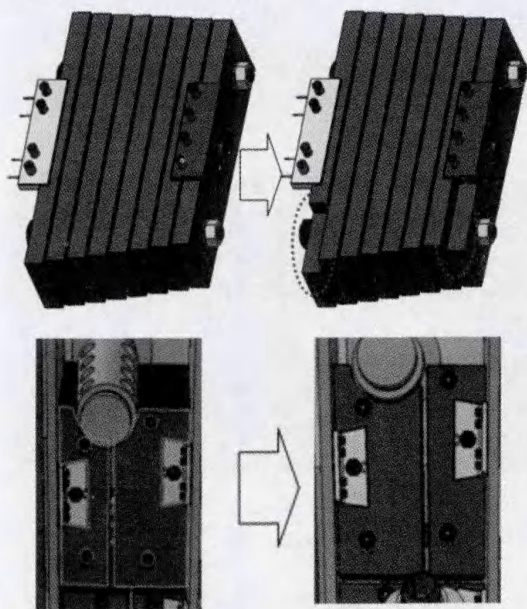


图7 部分模型的优化设计

Fig. 7 Optimization design of part model

2.3.3 动态干涉检查及保证间隙

DELMIA 具有动态干涉检查及间隙测量等虚拟装配的功能,可以解析在每个装配路径中是否有干涉存在以及检测间隙是否能够满足要求,当遇到干涉时可以自动终止仿真,并提示干涉区域,以便修改装配路径;同时,动态显示所需测量的零部件之间的间隙,建议最佳装配路径。由于在实际操作中存在误差,故 ITER 国际组规定,在装配

过程中,相邻零部件的间隙应尽量满足 5mm 以上的要求^[7],因此装配过程中的动态检测间隙就非常重要。

3 基于虚拟装配的部分模型优化设计

在具体的虚拟装配中会遇到各种问题,如螺栓与托架的干涉、屏蔽块与支撑的干涉、屏蔽块与大型法兰的干涉等。这就需要以装配结果为指导,在满足结构强度的前提下,对模型进行优化设计。比如对某些屏蔽块进行分割、改变屏蔽块的板的数量、更换短螺栓、使用特殊托架、改变部分装配顺序等。图7是以虚拟装配结果为依据的部分零部件模型的优化设计^[8]。

同时,某些模型由于位置特殊,使用前述的预先将屏蔽板与垫片等预装配的方法无法完成装配,课题研究中设计了多种新的装配方法。例如在窗口区域附近某屏蔽块,因法兰的存在不便装配,需设计一种特殊装配方法,现将该方法的虚拟装配过程简述如下,首先设计一种特殊的夹钳,先将两个螺栓固定,随后移动至所需装配的位置,并将定位螺栓插入下托架中。然后在保持所需间隙的前提下将板和垫片依次装入,随后移出该定位螺栓,装配其余的上托架、止动垫片、螺母等零部件,最终移出夹钳。图8即为这种特殊装配方法的模拟^[9]。

4 总结

中子屏蔽结构是 ITER 装置中真空室的重要组成部分,对抵抗和阻滞中子流起到巨大的作用。本文通过 DELMIA 软件,运用反装思路,对 ITER 中子屏蔽结构进行了虚拟装配,并进行了动态的干涉和间隙分析,对出现装配问题的屏蔽块进行了优化设计。与普通装配分析方法相比,反装方法更适于多零件的复杂装置,可大大简化装配过程。将干涉与间隙分析添加到动态虚拟装配过程中,可更精确地检测设计不合理的位置,便于对零部件进行优化设计,避免在实际制造装配过程中可能造成的损失。

目前,ITER 中子屏蔽结构的设计和装配工作已经基本完成,设计和装配结果完全符合 ITER

国际组要求,为装置的研制奠定了基础。

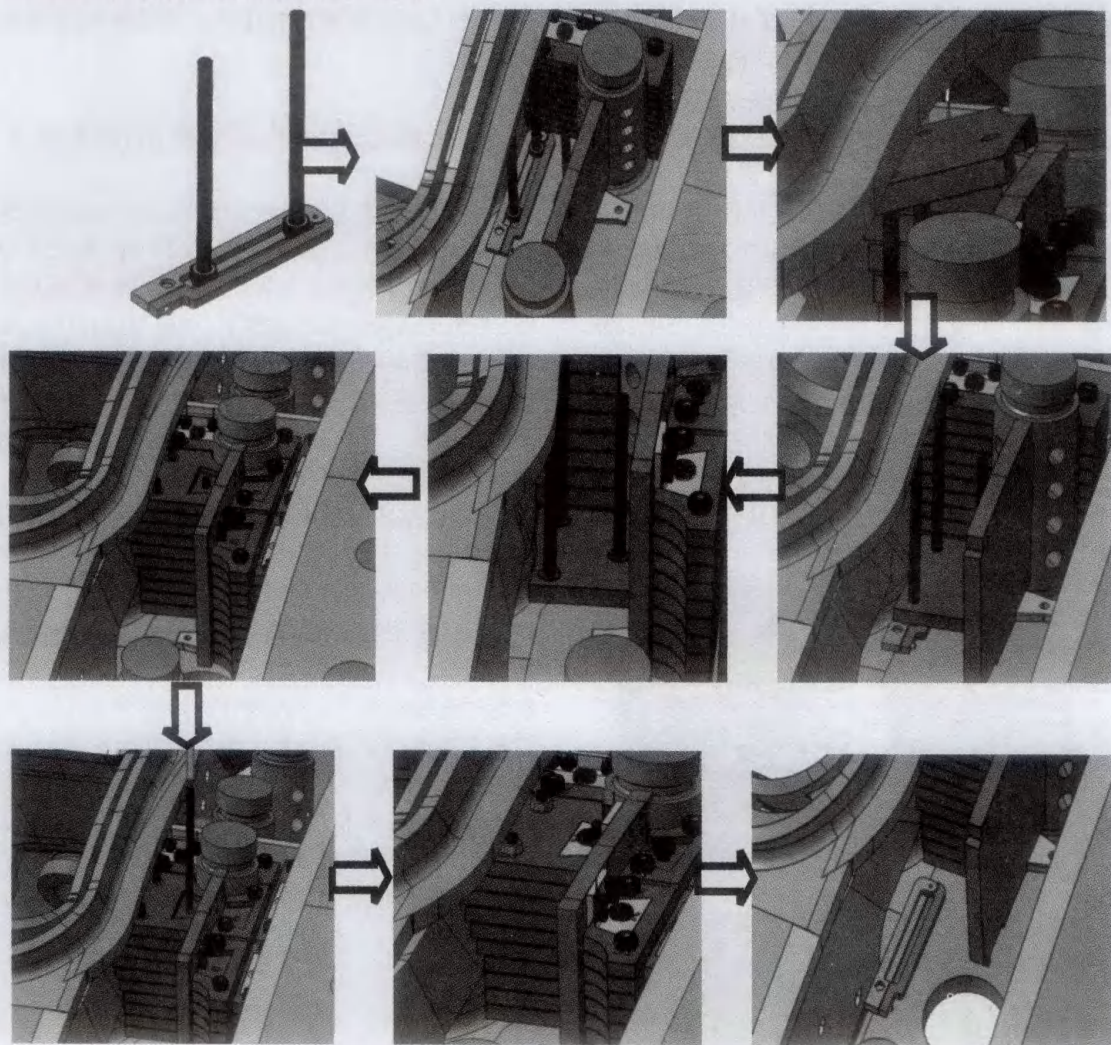


图8 一种特殊装配方法的模拟

Fig. 8 Assembly simulation of a special assembly method

参考文献

- [1] 刘常乐,武松涛,郁杰,等. ITER 真空室中子屏蔽设计[J]. 核聚变与等离子体物理, 2005(2):99-104.
- [2] 朱梅,刘素梅,宋云涛,等. ITER 装置中 IWS 装配仿真设计及研究[J]. 低温与超导, 2011,39(11):11-17.
- [3] 李险峰. DELMIA 数字化制造领域的起跑者[J]. 机械工人, 2006(10):71-73.
- [4] 邵珠振,王传礼,宋云涛,等. ITER 中子屏蔽结构的设计与分析[J]. 核聚变与等离子体物理, 2011(4):350-355.
- [5] 贾朝定. 基于 DELMIA 的虚拟装配技术[C]. 制造专题, 2007,30.
- [6] ITER I/O. IWS_impact_due_to_PCRs_-_PS3&PS4_V1 [R]. 2011.
- [7] ITER I/O. IWS_Design_Guideline_3F7L2V_v1_0 [R]. 2010.
- [8] ITER I/O. Engineering Description. ITER Design Description Document 1.5 Magnet [R]. 2011.
- [9] Fernajo. PS4_assembly_and_tolerances_issues_F4_6Q8DXP_v1_0 [R]. 2010.