

文章编号:1001-3997(2008)03-0140-02

EAST 托卡马克装置主机装配工艺分析

赵庆荣¹ 武松涛²

(1 井冈山学院 机械工程系,吉安 343009)(2 中国科学院 等离子体物理研究所,合肥 230031)

The analysis of EAST tokamak device assembly technology

ZHAO Qing-rong¹, WU Song-tao²

(1 Department of Mechanical Engineering, Jinggangshan University, Ji'an 343009, China)

(2 Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China)

【摘要】 EAST 托卡马克核聚变试验装置是中国科学院等离子体物理研究所承建的国家大科学工程,对该装置关键部件的装配方案进行了分析,并对实际采用的装配工艺过程进行了详细描述。

关键词: EAST;托卡马克装置;装配

【Abstract】 EAST is a chinese national mega-project of science and engineer performed by ASIPP. The key parts' assembly plans of EAST device are analyzed and adopted assembly technology in fact is also described accurately.

Key words: EAST; Tokamak device; Assembly

中图分类号: TH16 文献标识码: A

1 引言

EAST 托卡马克核聚变试验装置是中国科学院等离子体物理研究所承建的国家大科学工程,目前该装置已经完成工程的主体建设与试验调试,但这种近似圆柱形、由特种无磁不锈钢建成、高约 12m、直径约 5m、总重量达 400 多吨的试验装置的主机装机工艺依然值得分析与参考应用。

2 EAST 托卡马克装置主机总装方案分析

EAST 超导托卡马克装置主机主要由超导极向场磁体系统、超导纵场磁体系统、真空室、冷屏、外真空杜瓦及支撑结构组成,其总体结构,如图 1 所示。

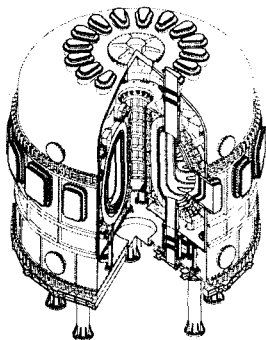


图 1 EAST 装置主机结构

EAST 装置主机可能采用的总装方案有:(1)1/4 纵场环体组件预装方案;(2)1/8 纵场磁体组件预装方案;(3)1/16 纵场磁体预装方案;(4)1/16 纵场及 1/16 内冷屏与真空室环体套装配方案。

*来稿日期:2007-06-01

2.1 1/4 纵场环体组件预装方案分析

1/4 纵场环体组件预装是指在预装平台上将四个纵场线圈组装成四分之一纵场环体,将内冷屏四分之一环体套进纵场四分之一环体内,将冷屏对称的两个下垂直颈管从下部与内冷屏本体相连,再将真空室四分之一环体套入内冷屏,形成纵场四分之一预装件,其装配过程,如图 2 所示。本装配方案可预先精确校准四分之一纵场环体的位置,总装过程中避免了真空室现场交叉焊缝技术问题,有利于保证真空室焊缝的焊接质量,但每个预装组件的总重量约为 45 吨,若要对四分之一真空室及内冷屏进行调整定位必须借助于专用的工装,而且若要更换某一个纵场线圈,则纵场环体也必须是以四分之一环体为一组件拆分,单个纵场线圈组件因内冷屏与真空室的嵌套结构而难以单独拆分。

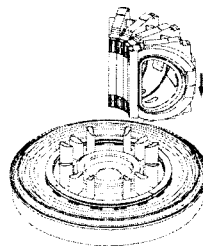


图 2 1/4 纵场环体组件预装

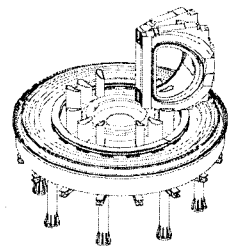


图 3 1/8 纵场环体预装

2.2 1/8 纵场磁体组件预装方案分析

1/8 纵场环体组件预装是指在预装平台上将二个纵场线圈组装成八分之一纵场环体,将内冷屏八分之一环体套进纵场八分之一环体内,再将真空室八分之一环体套入内冷屏,形成纵场八分之一预装件,其装配过程,如图 3 所示。该方案有利于总装

时内冷屏下垂直窗口通道较顺利地套入已定位的真空室下垂直支撑窗口通道,每个预装组件的总重量约为21吨,对于50吨的行车来说较为安全。但该方案需要在真空室内完成内冷屏的连接和拆卸,在真空室上需新增16处带有交叉焊缝的结构,可能将会有至少16个,最多96个交叉焊缝点(按32个垂直窗口和16个水平窗口计算)是要在现场完成封焊的,另外由于有8处真空室的窗口恰好在1/8真空室的焊接分界面上,为保证窗口的精确安装到位,1/8真空室之间的焊接变形控制的要求应极为严格(估计应在 $\pm 0.5\text{mm}$ 以内)。

2.3 1/16 纵场磁体预装方案分析

1/16纵场环体预装方案主要为将第一个纵场及1/16内真空室与内冷屏预装到位后,先装第二个1/16内冷屏及其颈管,接着套入第二个纵场磁体,然后套入第二个真空室。

该方案可基本避免交叉焊缝问题,仅在最后一个1/16组件安装时有现场交叉焊缝,真空室窗口的设置及尺寸设计较为灵活,各组件重量较小,装吊、调整方便,但该方案不可实现1/16组件的拆分,最后一个1/16段组件的安装无论在定位、调整、焊接、连接等方面都较困难,现场焊接工作量较大,对于控制焊接质量要求更高。

2.4 1/16 纵场及 1/16 内冷屏与真空室环体套装方案分析

套装方案主要是将真空室独立组装成环体,但保留一个合适大小的环体缺口,然后将1/16内冷屏、1/16纵场磁体分别套入真空室环体。其要点是:将真空室先组装成环,并检查环体的形位尺寸,移去至少一个1/16段,即不小于 22.5° 的扇形缺口,然后将1/16内冷屏和纵场磁体分别套入这一真空室环体逐个就位,如图4所示。

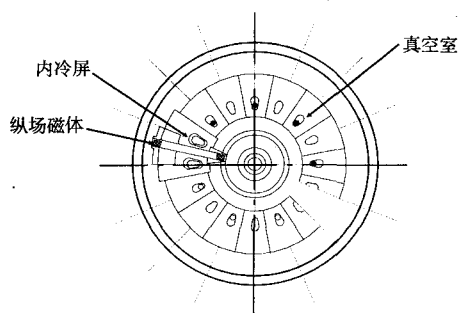


图4 1/16纵场及1/16内冷屏与真空室环体套装

该方案特点是真空室本体可单独进行内外强度焊接和真空密封焊接,但(最多)可成环15/16,内冷屏可单独成环验收,然后逐步套装到真空室外,(最多)可一直套装到15/16环。可对真空室和冷屏开展预成环验收,在总装过程的相当大的时间段内可独立调整、安装和监测每一个环体的自身是否满足总装精度要求。

3 套装的 EAST 装置主机总装工艺方案

3.1 真空室预成环

在 EAST 真空室预成环的装配平台上,建立圆柱工装。如图5所示,圆柱工装的上下设置有真空室直线段定位圈,中间为加强圈。在装配平台上划出 22.5° 的分度线,作为16段真空室拼装时的圆周定位基准,并建立高程控制点来控制真空室水平面的高度。每1/16段真空室通过焊接在其直线段的吊钩挂放在圆柱工

装上。将真空室吊装到位,通过测量调整真空室方位、尺寸等以满足技术要求,将各段焊接成环,最后一段即 OP 段按定位焊接。

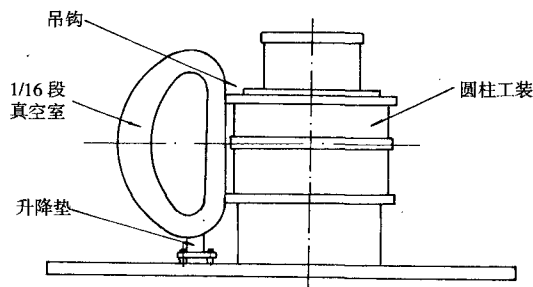


图5 EAST真空室预成环示意图

3.2 中心测量立柱的安装

EAST 装置的真空室、内冷屏和纵场磁体均为由16个扇形结构拼装而成的环形体,为了便于对每一个1/16环体水平方向的定位和到装置中心距离的控制,在装置的中心处设计制作了一个中心测量立柱,如图6所示。中心测量立柱由上、中、下三段直径不同的柱体构成,总高约7560mm,上部工作直径为 $\phi 240\text{mm}$ 。

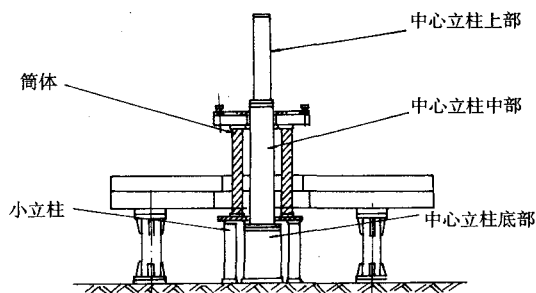


图6 中心测量立柱

3.3 真空室、内冷屏、纵场磁体安装

将预成环的真空室整体吊装到位,测量并保证真空室水平及垂直窗口对基准的环向角度偏差、真空室中心圆孔直径、对基准中心同轴度偏差、对中心基准A的垂直度偏差以及水平窗口的中心高度。真空室整体吊装定位后开始逐个套装1/16内冷屏,一直套装到15/16环。在套装内冷屏的同时,依次在内冷屏上套装纵场磁体,整个工艺过程(图略)。

4 结论

EAST 装置主机的总装程序对主机装配工艺及工装的设计、装置大厅的总体布局,乃至主机的总装精度、总装进度及经费的支出等都可能产生重要的影响。因此,有必要根据装置主机的总体结构设计制定合理的总装程序,并在分析了相关装配工艺的基础上选择了真空室、内冷屏、纵场磁体三环套装的工艺方案,该方案能够保证在现有工程设计基础上,相对安全、质量更易保证、进度可以大大缩短。

参考文献

- 1 武松涛. HT-7U 装置主机结构及总装介绍. 合肥: 中国科学院等离子体物理研究所, 2003
- 2 赵庆荣, 武松涛. HT-7U 超导托卡马克装置装配方案概述. 核聚变与等离子体物理, 2004(9): 186-190
- 3 赵庆荣, 武松涛. EAST 托卡马克装置关键部件装配的控制测量. 核聚变与等离子体物理, 2006(12): 302-305