

EAST 托卡马克装置关键部件装配的控制测量

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)

摘要: 采用精密工程测量技术对 EAST 装置主机关键部件装配位置进行了装配过程检测, 并建立了相应的测量控制网。通过利用合适的控制测量方案, 使得 EAST 装置关键部件的装配位置精度达到了设计要求。

关键词: EAST 装置; 装配; 控制测量

中图分类号: TL631.2⁴; TG95

文献标识码: A

1 引言

EAST 全超导托卡马克核聚变实验装置为一圆环结构, 如图 1 所示。该装置的高度为 10m, 直径为 7.6m, 总重量为 360T, 目前已经完成了关键部件的装配定位, 如图 2 所示。在 EAST 装置主机总装过程中, 为了保证各部件的安装定位精度要求, 需要对每一个安装部件进行控制测量。由于 EAST 装置主机结构的复杂性, 采用传统的单一机械式的测量方案难以满足上述要求。因此, 在参考了国内外有关精密工程的测量后, 提出了将精密工程测量的技术引入到 EAST 超导托卡马克装置主机部件的装配测量方案中, 建立装配工程测量控制网。

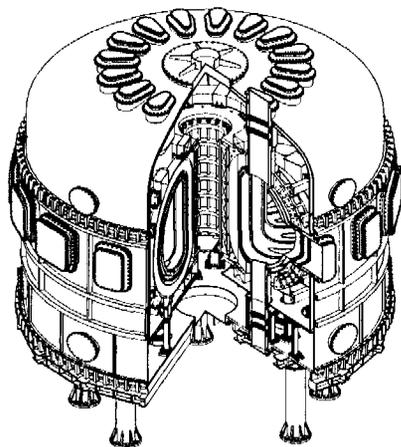


图 1 EAST 装置主机结构

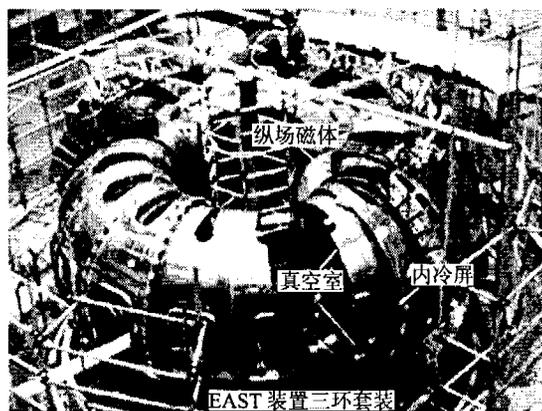


图 2 EAST 装置关键部件装配

2 测量控制网的建立

EAST 装置主机在总装时, 要求相关部件的高度控制精度为 $\pm 0.5\text{mm}$, 垂直度控制精度为 $\pm 1.0\text{mm}$, 同轴度控制精度为 $\pm 0.5 \sim 1.0\text{mm}$, 平面相对位置控制精度为 $\pm 1.0\text{mm}$, 水平角度控制精度为 $\pm 0.01^\circ$ 。为了能够在装配过程中测量控制各零部件的安装精度, 在 EAST 装置试验大厅中建立了一种独立于装置本身的、可以永久保存的测量控制网。根据控制网建立的目的和用途, 可分为水平控制网和高程控制网。水平控制网的主要作用是提供装置安装、调整和竣工验收提供水平控制点和相应的控制测量资料。而高程控制网的主要作用则是提供高程控制点及其准确的高程数据。

收稿日期: 2005-12-19; 修订日期: 2006-08-12

作者简介: 赵庆荣 (1971-), 男, 安徽宿松人, 博士, 讲师, 主要研究方向: 计算机辅助设计与检测 (CAD/CAT)。

2.1 水平控制网

EAST 超导托卡马克装置主要由极向场磁体系统、纵场磁体系统、真空室、内外冷屏、外真空杜瓦和四组支撑系统构成。在整个 EAST 装置的装配工作中,真空室、内冷屏和纵场磁体的安装最为复杂和关键,而且根据 EAST 超导托卡马克装置的特点,这三大部件都是一个 D 形截面的环体,由十六个扇形段拼接而成,由于是环体的安装,因此必须找出安装的中心基准点,这个中心基准点也就是整个装置装配坐标系的原点。然后根据这个中心基准点,在 EAST 装置试验大厅墙面上顺时针每隔 11.25° 建立了一个分度基准点,作为安装真空室、内冷屏和纵场磁体时的分度基准。其布置情况如图 3 所示。

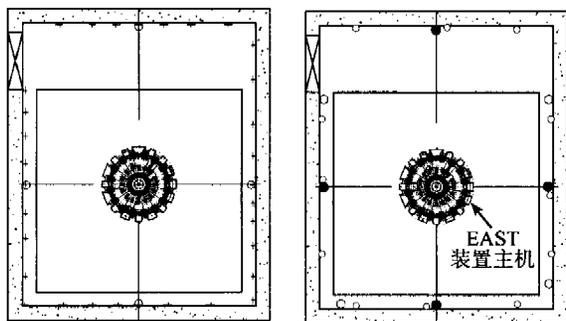


图 3 EAST 装置水平控制网基准网点布设

+ ——三十二条分度基准点; ●——四个对中基准点; ○——一层平台坐标基准点; ○——二层平台坐标基准点。

2.2 高程控制网

对于 EAST 超导托卡马克装置总装的高程基准零点,我们选取外杜瓦底座上十六个纵场磁体支撑垫块的最高值为零基准,这也是考虑到以后安装纵场磁体时的高程值便于调整。EAST 装置主机的真空室、内冷屏和纵场磁体的赤道面设计要求距外杜瓦底座的距离为 3320mm。为了保证真空室、内冷屏和纵场磁体在安装完后,真空室水平颈管的安装能够顺利进行,不相互干涉,因此在安装真空室、内冷屏和纵场磁体时,需要对其赤道面的高度进行严格测量。在 EAST 装置试验大厅一层平台的墙面上,设置了十个高程控制基准点,如图 4 所示。

3 控制测量方案

EAST 装置主机真空室、内冷屏和纵场磁体在

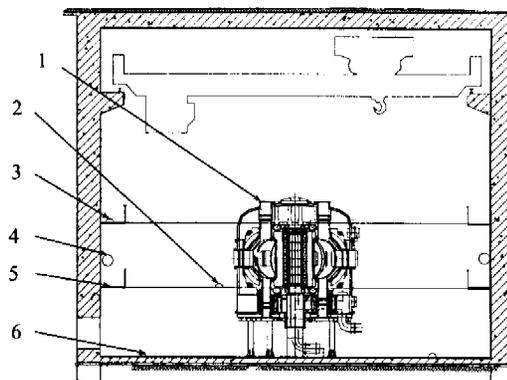


图 4 EAST 装置高程控制网网点布设

1——EAST 装置主机; 2——高程转换点; 3——实验大厅二层平台; 4——赤道面高程控制点; 5——实验大厅一层平台; 6——地基沉降监控点。

结构设计上都是由十六个 D 形截面的扇形体通过拼装焊接而成为一个环体,每一个扇形体上都有一个水平窗口和上下垂直窗口。在 EAST 装置主机总装设计上对这三层环体的窗口水平位置和高程位置都提出了相当高的精度要求,即在这三层环体的安装时,每一个水平窗口都要落在沿圆周方向角度为 22.5° 的分度线上,要求角度偏差在 $\pm 0.01^\circ$ 以内,并同时要求每一个水平窗口的中心赤道面要满足与外杜瓦底座上高程基准 O-O 面的高程值。此外,为了控制真空室、内冷屏和纵场磁体的直线段到装置装配坐标系中心轴线的距离,在测量过程中建立了高标准的测量中心柱。对真空室、内冷屏、纵场磁体三环套装的主要控制测量内容为: a. 定水平窗口的平面角度位置; b. 量三层环体水平中心平面的高程值; c. 定各扇形体直线段到装置装配中心轴的距离值; d. 量三层环体之间的间隙。对于纵场磁体的安装除了这些控制测量内容外,还要求控制纵场磁体中心水平面对装置中心轴的垂直度。

3.1 真空室定位控制测量

a. 用接杆千分尺测量真空室直线段到装置中心测量柱的距离来控制它与装置中心轴线的距离要求。

b. 将仪器架设在大厅所建的水平控制网的某个控制点与外杜瓦底座平台上用精密机床所刻划的分度点之间,将仪器准直到水平控制点和其对应的平台分度点的连线上,然后对真空室水平窗口垂直对称线进行光学准直到真空室的水平位置进行准确定位,如图 5 所示。

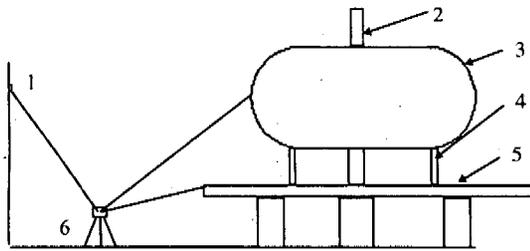


图 5 真空室整体吊装水平位置控制测量示意图

1——控制点；2——中心测量立柱；3——真空室；4——工艺支撑；5——外杜瓦底座。

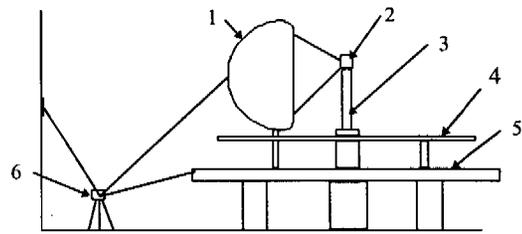


图 7 内冷屏水平位置控制测量示意图

1——内冷屏；2——经纬仪；3——中心测量立柱；4——外冷屏底座；5——全站仪；6——外杜瓦底座。

c. 利用 DNA03 精密数字水准仪并结合装置大厅中所建立的高程控制网来对真空室水平窗口高程值进行控制测量，使它安装定位后的高程值能够满足设计要求，如图 6 所示。

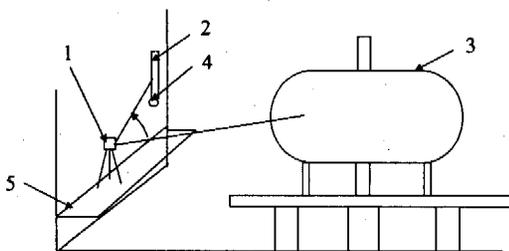


图 6 真空室中心赤道面高程控制测量示意图

1——数字水准仪；2——920mm 钢钢尺；3——真空室；4——高程控制点；5——一层平台。

3.2 内冷屏定位控制测量

a. 用接杆千分尺来测量内冷屏直线段到装置中心测量柱的距离来达到控制它与装置中心轴线距离的精度要求。

b. 将短视距的经纬仪安放在中心测量立柱上，通过真空室 OP 段缺口照准装置大厅墙面上的定向点来对经纬仪进行定向并用作起始零值，旋转经纬仪到安装某 1/16 段内冷屏所要求的水平角度位置，通过上下照准内冷屏直线段的分度划线来控制其水平角度位置及可能的左右倾斜。

c. 全站仪架设在所安装的某 1/16 段内冷屏所对应的水平控制网中某控制点与外杜瓦底座平台上用精密机床所刻划的分度点之间，将仪器准直到水平控制点和其对应的平台分度点的连线上，然后对内冷屏水平窗口的水平对称线进行光学准直，以实现从外部来控制内冷屏水平位置的偏转，如图 7 所示。

3.3 纵场磁体定位控制测量

a. 对纵场磁体直线段的控制测量点到装置中心立柱的距离进行测量，与内冷屏的测量方法相同，用接杆千分尺来控制测量。

b. 用安装在中心测量立柱上的短视距经纬仪来控制纵场磁体中心平面位置及可能的左右倾斜，实施测量方法跟内冷屏控制测量相同。

c. 将全站仪架设在实验大厅的地面上或架设在在一层平台上，使全站仪处于外杜瓦底座侧边上用精密机床所刻划的分度点和墙面上水平控制网某一控制点的连线上，照准纵场磁体中心平面的外侧刻划的控制测量点，来控制纵场磁体中心平面的偏转。

d. 把两台全站仪或经纬仪，其中一台架设在大厅地面上，另一台架设在在一层平台上，分别同时照准纵场磁体的外侧竖直面的控制测量点，通过全站仪或经纬仪目镜的竖直丝照准纵场磁体的外侧竖直面的控制测量点来控制其中心平面与装置中心轴线的垂直度要求，具体数值可结合钢尺来获得。这样可与用接杆千分尺来测量纵场磁体直线段上下方向与中心测量立柱的水平距离的差值结合与对比，可得出具体的垂直度数值。具体控制测量过程如图 8 所示。

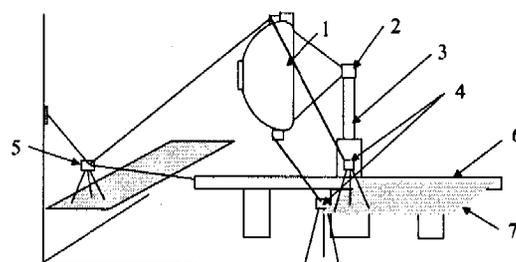


图 8 纵场磁体安装位置控制测量示意图

1——纵场磁体；2——经纬仪；3——中心测量立柱；4、5——全站仪；6——外杜瓦底座；7——一层平台。

4 结束语

通过以上测量控制网的建立和控制测量方案的实施, EAST装置主机中的关键部件真空室、内冷屏和纵场磁体三环套装的装配位置得到了很好的控制, 保证了整个装置主机的装配精度要求, 同时建立的测量控制网能够用于今后装置运行、维护及改造时恢复所需的测量坐标系。

参考文献:

- [1] 武汉测绘学院控制测量教研组, 同济大学大地测量教研室. 控制测量学 [M]. 北京: 测绘出版社, 1985.
- [2] 武松涛. EAST装置主机设计文集: 四集 [C]. 合肥: 中国科学院等离子体物理研究所, 2001.
- [3] 赵庆荣, 武松涛. EAST托卡马克装置装配控制网的建立 [J]. 机械制造, 2005, 43(8): 52-54.

The control survey of key parts assembly on EAST tokamak

ZHAO Qing-rong¹, WU Song-tao²

(1. Department of Mechanical Engineering, Jinggangshan University, Ji'an 343009;

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

Abstract: The technology based on the precise engineering survey has been adopted to control the key parts' assembly position of EAST tokamak. The establishment of the survey control networks is also described. With application of the appropriate survey plans, the key parts assembly position design precision in the EAST device has been ensured.

Key words: EAST; Assembly; Control survey