

EAST 托卡马克装置装配控制网的建立

□ 赵庆荣 □ 武松涛

摘要: 在 EAST 托卡马克装置的装配过程中,为了能够准确地测量和控制各部件的安装定位,需要在独立于装置之外,建立一个永久的测量控制基准网。并对各控制网点的测量数据进行分析,保证控制网的精度。

关键词: EAST 装配 测量 控制网 精度分析

中图分类号:TH161*7;TM936

文献标识码:A

文章编号:1000-4998(2005)08-0052-03

EAST 超导托卡马克装置是中国科学院等离子体物理研究所正在建造的国家“九五”大科学工程项目。装置主机总高度为10 m,直径为7.6 m,总重量为360 t。图1为 EAST 托卡马克装置主机主剖面图。

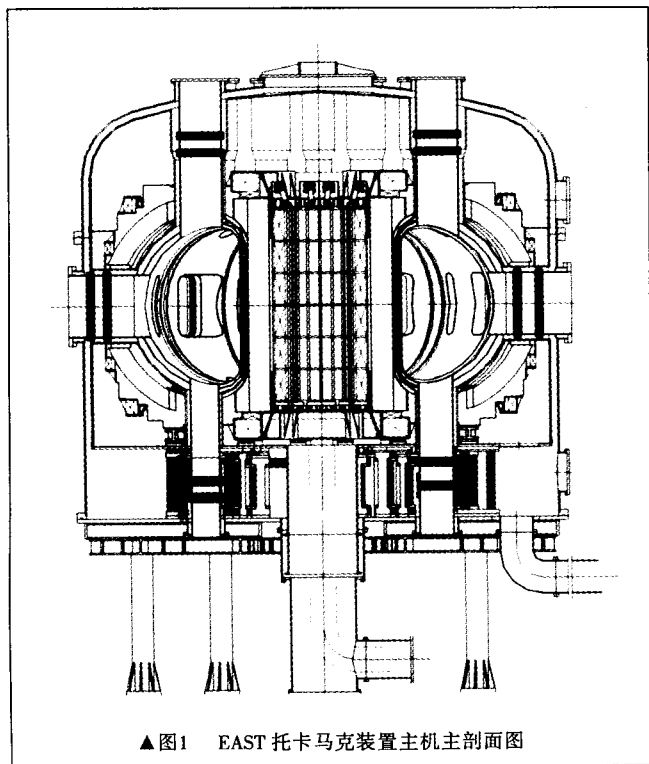
EAST 装置主机在总装时,要求相关部件的高度控制精度为 ± 0.5 mm,垂直度控制精度为 ± 1.0 mm,同轴度控制精度为 $\pm 0.5 \sim 1.0$ mm,平面相对位置控制精度为 ± 1.0 mm,水平角度控制精度为 $\pm 0.01^\circ$ 。为了能够在装配过程中测量控制各零部件的安装精度,在 HT-7U 装置试验大厅中建立了一种独立于装置本身以外的、可以永久保存的测量控制网。根据控制网建立的目的和用途,可分为水平控制网和高程控制网。水平

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;而高程控制网则提供高程控制点及其准确的高程数据。

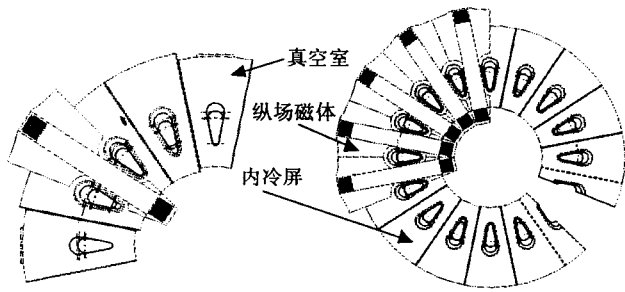
1 水平控制网的建立及精度分析

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4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3大部件都是 D 形截面环体,由16个扇形段拼接而成,如图2所示。

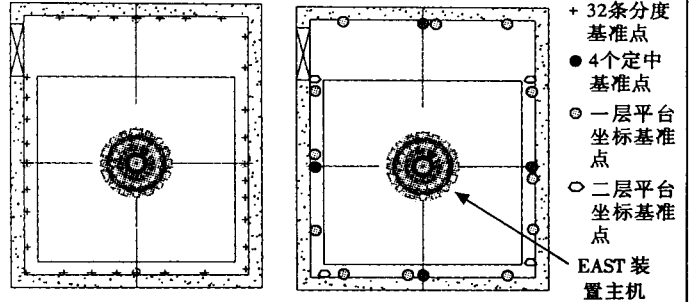
这3层环体通过各自的支撑安放在 EAST 装置外杜瓦的基座上,由于是环体的安装,因此必须找出安装的中心基准点,这个中心基准点也就是整个装置装配坐标系的原点。中心基准点的确定原则是根据外杜瓦基座在数控机床上加工时所刻划出的16个分度方向点,利用徕卡全站仪 TCA2003 对由这16个方向点所连成的8条线进行中心交点拟合,最后形成的中心点即为装配坐标系的坐标原点。这个坐标原点通过全站仪的激光投点和天地仪的校准,在 EAST 装置试验大厅的地面上,埋设一个永久的基准点,作为今后装置安装的中心基准。另外,利用全站仪架设在此中心,分别在 EAST 装置试验大厅的北、东、南、西墙面上按顺时针在 0° 、 90° 、 180° 、 270° 4个方向各设立了一个永久保存的基准点,这样,装置坐标系原点就可以通过利用全站仪或经纬仪找准这4个基准点来恢复,其位置布设见图3所示。考虑到组成真空室和内冷屏的16个扇形段安放在水平 22.5° 的分度线上,而16个纵场磁体的支撑面跟真空室和内冷屏的垂直窗口偏离 11.25° ,因此以上所述确定的中心基准点作为全站仪的测站点,以正北方向为起始方向,在 EAST 装置试验大厅墙面上顺时针每隔 11.25° 建立一个分度基准点,作为安装真空室、内冷屏和纵场磁体的分度基准。其布设情况见图3所示。



▲图1 EAST托卡马克装置主机主剖面图



▲图2 真空室、内冷屏、纵场磁体安装



▲图3 EAST装置水平控制网基准网点布设

根据相关的测量规范和工程测量的精度要求,墙面上水平控制网各基准点的水平角观测采用方向观测法,4个定中基准点进行了6个测回的测量,32条分度基准点进行了3个测回的测量。采用方向观测法进行水平角多测回的测量,算出每一测回各方向的盘左和盘右读数的平均值,经过与起始方向的归零值进行运算,得出归零后的方向值。作多测回的观测后,采用直接平差(为了处理测量中存在的误差问题,观测值的个数往往要多于确定未知量所必须观测的个数,也就是要进行多余观测。有了多余观测,势必在观测结果之间产生矛盾,测量平差的目的就在于消除这些矛盾而求得观测量的最可靠结果并评定测量成果的精度。)分别解算出一测回和多测回所有的测角精度,采用中误差(标准方差)来度量。每一方向的平差值为各测回方向值的平均,而各方向值的改正数由平差值和实际观测值的差值求得。

根据直接平差原理,一测回中误差计算公式为:

$$m_R = \sqrt{\frac{\sum \nu^2}{(N-1)(S-1)}} \quad (1)$$

多测回中误差计算公式为:

$$m_M = m_R / \sqrt{S} \quad (2)$$

式中 N 为方向数, S 为测回数, ν 为改正数。

对4个定中基准点6个测回的测量角度值进行分析,得到整个作业一测回中误差为:

$$m_R = \sqrt{\frac{\sum \nu^2}{(N-1)(S-1)}} = \sqrt{\frac{28.84}{(4-1)(6-1)}} = \pm 1.4''$$

多测回中误差为:

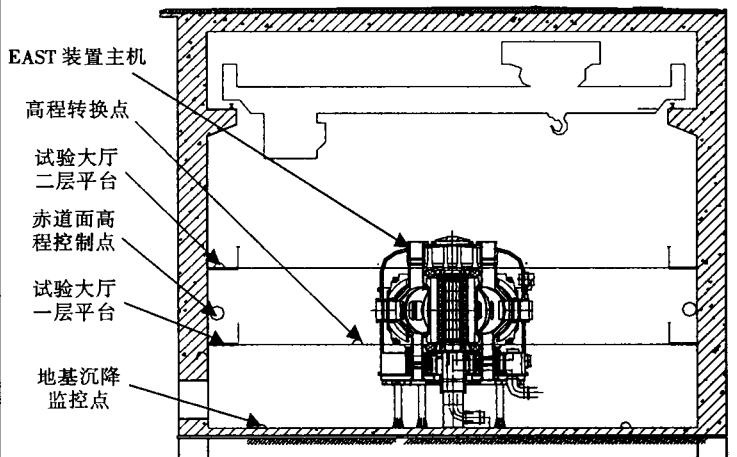
$$m_M = m_R / \sqrt{S} = 1.4 / \sqrt{6} = \pm 0.6''$$

对32条分度基准点3个测回的测量结果进行分析和平差,解算出其一测回中误差为:

$$m_R = \sqrt{\frac{\sum \nu^2}{(N-1)(S-1)}} = \sqrt{\frac{243.24}{(32-1)(3-1)}} = \pm 2''$$

多测回中误差为:

$$m_M = m_R / \sqrt{S} = 2'' / \sqrt{3} = \pm 1''$$



▲图4 EAST装置高程控制网网点布设

经过以上水平控制网角度平差后,得出水平控制网的精度完全能够满足 EAST 超导托卡马克装置水平角度的控制要求(EAST 装置安装的水平角度精度要求为 $\pm 0.01^\circ$, 即 $36''$)。

在建立了装配坐标系的原点后,以正北方向为 X 轴,正东方向为 Y 轴,铅垂方向为 Z 轴,即可建立一个空间的三维装配坐标系,这个装配坐标系与 EAST 装置总装设计坐标系相对应。为了能够测得 EAST 超导托卡马克装置各组成部件上的安装基准点在这个装配坐标系中的三维坐标值,在建立水平控制网的同时,在 EAST 装置试验大厅一层平台和二层平台的墙面上,分别设立了20个具有三维坐标值的参考点(见图3所示),利用这些点的坐标值,可以在 EAST 试验大厅中任意方便的位置,通过全站仪的自由设站软件功能,测得 EAST 装置各部件在整个装置装配坐标系中的三维坐标值。

2 高程控制网的建立及精度分析

对于 EAST 超导托卡马克装置总装的高程基准零点,选取外杜瓦底座上16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

表1 赤道面控制点相对高程测量值/m

测量点	F1-H	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10
高差	1.88712	0.22112	0.19945	0.19108	0.16421	0.16618	0.20949	0.19204	0.20170	0.17946	0.20759
相对高程	0.00000	1.66600	1.68767	1.69604	1.72291	1.72094	1.67763	1.69508	1.68542	1.70766	1.67953

表3 高程控制网点绝对高程值/m

赤道面控制点	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10
高程值	2.78072	2.80239	2.81076	2.83763	2.83566	2.79235	2.80980	2.77821	2.80045	2.79425

地基沉降点	D1	D2	D3	D4	高程转换点	F1-H
高程值	-2.87239	-2.87502	-2.87219	-2.87238	高程值	1.11479

表2 地基沉降监测点相对高程值/mm

测量点	D1 ~ D2	D2 ~ D3	D3 ~ D4	D4 ~ D1
相对高程	2.63	2.83	0.19	0.05

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 3 320 mm,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10个高程控制基准点,如图4所示。

采用徕卡 DNA03 数字水准仪在一层平台上对赤道面高程控制点进行数据采集,测量模式为 Mesn S,最少测量次数设置为12次,最多测量次数设置为30次,标准偏差值 S 设置为 $(sDev/20m)0.00003m$ 。从最少的观测次数数起,仪器自动检测观测数据平均值的标准偏差是否满足设定的标准偏差值 S 。若平均值的标准偏差小于或等于标准偏差,则测量结束。否则,测量继续到设定的最多次数。选用一层平台上高程转换点作为这10个控制网点的相对基准点,测得的相对高程数据如表1所示。

在建立高程控制网点的同时,为了能够在 EAST 装置的安装过程中,随时监测试验大厅的地基沉降,在大厅的地面上埋设了4个基准点,测得各点的相对高差如表2所示。

由于 EAST 装置主机的绝对高程基准面0-0面选在外杜瓦底座上,因此各个赤道面高程控制点和地基沉降监测点都要通过测站转换成高程基准面0-0面的绝对高程值。通过转站测量后推算出赤道面高程控制点、高程转换点和地基沉降监测点的高程值如表3所示。

3 结论

EAST 装置是我国自行研制的一个具有非圆截面的大型全超导托卡马克装置,它的建成将使我国成为世界上少数几个拥有大型非圆截面全超导托卡马克装置的国家。EAST 装置总装水平控制网和高程控制网的建立,首次采用精密工程测量的方法来保证装置的总装过程能够准确地满足物理和工程要求,同时也使整个 EAST 托卡马克装置的建设水平提高到一个更高的阶段。

参考文献

- 1 武松涛. EAST 装置主机设计文集(四). 合肥:中国科学院等离子体物理研究所,2001:1~7
- 2 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,1986
- 3 武汉测绘学院《测量学》编写组. 测量学[M]. 北京:测绘出版社,1985
- 4 武汉测绘学院大地测量系《测量平差基础》编写组. 测量平差基础[M]. 北京:测绘出版社,1978

△
(编辑 凌云)

第一作者单位:井冈山学院计算机科学与技术系
 邮政编码:江西吉安·343009
 第二作者单位:中国科学院等离子体物理研究所
 收稿日期:2005年3月

反对奢侈浪费 树立科学消费观

《机械制造》杂志社

·公益广告·公益广告·公益广告·公益广告·公益广告·公益广告·公益广告·公益广告·公益广告·公益广告·公益广告·