

文章编号:1001-2354(2002)05-0030-02

# HT-7U 超导托卡马克冷质部件支撑结构初步设计

陈先忠,武松涛

(中国科学院等离子体物理研究所,安徽 合肥 230031)

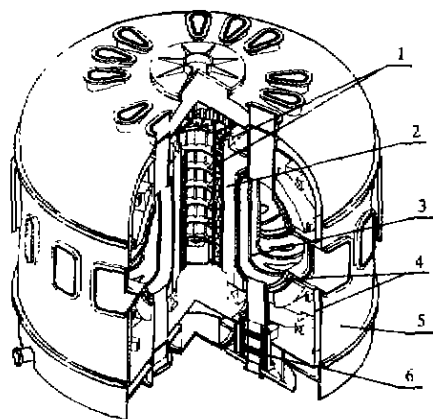
**摘要:**HT-7U 超导托卡马克冷质部件支撑结构,是用于支撑整个纵场系统及、极向场系统的重力,以及部分电磁力与热收缩力,它涉及到电磁学、机械、传热学和力学等学科,并主要介绍一种圆杆式柔性支撑结构及这种支撑结构用于 HT-7U 超导托卡马克装置时的特点。

**关键词:**超导托卡马克;柔性支撑

**中图分类号:**TL631.2<sup>+</sup>4;TH122 **文献标识码:**A

## 1 概述

可控热核聚变是当代自然科学研究中的一项具有十分重大意义的前沿领域。它的目标是在地球上创造比太阳内部温度还高的极端高温条件,利用丰富的氘(D)和氚(T)资源,释放巨大的核聚变能量,为人类提供取之不尽,用之不竭的新能源。目前这种技术也只有少数几个国家才掌握。HT-7U 正是基于此意义,获得国家批准的“九五”重大科学工程,它的科学目标是建造一个具有非圆截面的大型超导托卡马克装置及其实验系统,发展并建立在超导托卡马克装置上,进行稳态运行所需要的多种技术,开展稳态、安全及高效运行的先进托卡马克聚变堆基础物理问题的实验研究。如图 1。



1 超导极向场磁体 2. 超导纵场磁体 3. 真空室  
4 内外冷屏 5. 外真空杜瓦 6. 支撑结构

图 1 HT-7U 超导托卡马克装置

HT-7U 主机装置主要由超导极向场磁体、超导纵场磁体、真空室、内外冷屏、外真空杜瓦及支撑结构

等几大部件组成。其中冷质部件支撑结构是用于支撑整个纵场系统及极向场系统的重力以及部分电磁力与热收缩力,保证纵场系统的精确安置位置,保证纵场系统与基础间良好的电、热绝缘。

## 2 HT-7U 超导托卡马克纵场支撑的设计及结构简述

作为支撑结构主要是为了支撑静载荷或动载荷,结构的破坏主要是由于应力的大小超过了材料的许用应力,而导致结构的失效,一般通过降低应力或选用强度高的材料可以满足条件,而对于大型重质低温系统 HT-7U 超导托卡马克装置的支撑结构来说,它是纵场系统中的一个重要部件,它主要用于支撑整个纵场系统及极向场系统的重力,以及部分电磁力与热收缩力,保证纵场系统的精确安置位置,以及纵场系统与基础间良好的电、热绝缘。它除了在静载荷条件下要有足够的强度、刚度、稳定性及抗震性外,还要解决运行时热负荷、电磁力及热胀冷缩引起的热应力所带来影响等问题。

圆杆式柔性支撑结构,如图 2 所示。采用三组圆杆拉压穿插回路结构,两组压杆的尺寸相同,直径 32 mm,总长 890 mm(有效长 850 mm),上组压杆分两排共 8 根,下组压杆分三排共 9 根,拉杆分两排共 10 根,直径为 32 mm,长 828 mm,连接板厚度为 50 mm,整个支撑结构高 1 138 mm。

压杆、拉杆与连接板之间的联结形式,如图 3 所示。拉杆两端与连接板采用螺纹联结方式;压杆两端采用过盈配合方式。

该结构作为 HT-7U 冷质部件支撑,它是连接低温和室温的桥梁,柔性的支撑可以减小装置在运行时

· 收稿日期:2001-06-28;修订日期:2001-10-29

作者简介:陈先忠(1971-),男,博士研究生,主要研究领域:结构设计及力学计算。

低温部分收缩引起的应力;占用空间小可以充分利用空间;整个支撑系统是由16组单个圆杆式柔性支撑结构和一个工字钢型支撑环组成(如图4),16组支撑将超导磁体的载荷,经外冷屏底座和一个50 mm厚的绝缘板传至外真空杜瓦的基座上,整个支撑结构高1 373 mm,其中工字钢高185 mm,内环半径2 225 mm,外环半径2 495 mm,工字钢型环体是由4个1/4环经绝缘隔缝组成,工字钢壁厚40 mm。

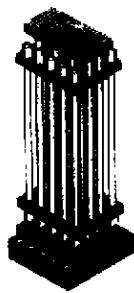


图2

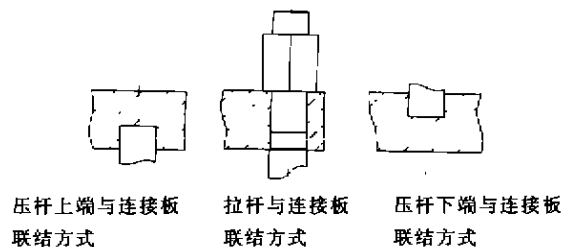


图3



图4

### 3 结构分析

该结构系统在HT-7U纵场系统的静重作用下,容易满足条件,采用圆杆拉压穿插回路结构的特点,在于这种结构增加了结构的柔性,而HT-7U装置在运行过程中的特点,是纵场系统处于液氮的低温状态,支撑系统是连接纵场系统和基座的桥梁,这就导致支撑系统在工作过程中一端处于低温状态,而另一端处于室温状态,另外,整个装置从开始到稳定工作的过程中,纵场系统是从室温到低温的不断变化。对于圆形装置来说,就会有向中间收缩的位移,而超导磁体在电磁力的作用下也要引起一定的位移。对于刚性大的结构而言,很小的位移都能产生很大的应力,极易造成结构的破坏,而柔性支撑的特点就是能够很好地解决这一问题。

对于有温差变化的系统来说,为了减小高温部分对低温系统的热负荷,采用圆杆拉压穿插回路结构,还使传热路径增长,降低热负荷,相应也减小了高温差带来的热应力的影响,尤其是HT-7U超导托卡马克这种高温差装置,热应力的减小很显著;在设计冷却方式时,可以直接在上、下连接板上开槽通液氮,会进一步减小支撑结构对低温系统的热负荷。

由于HT-7U装置结构的复杂性,很难预留较大的空间设计支撑结构,采用圆杆拉压穿插回路结构占用空间小,可以充分利用空间。

该结构的杆板连接处采用的是螺纹联结和紧配合方式。它具有可拆卸性,组装方便灵活,但各杆的受力存在不均匀性的情况,并且随着圆杆数量的增多,这种不均匀性越严重。为了减小各杆的受力不均匀性,只有通过加工的精度来保证,也就是说压杆的长度误差越小,连接板的沉孔相对深度的精度越高,受力不均匀性就越小,但是相应增加了加工的难度;杆板连接处也可以采用拉杆两端焊接方式和压杆两端紧配合方式,这样可以避免拉杆的加工要求,但会有附加的焊接应力。另外,采用细长压杆还要考虑稳定性的影响:对于单杆来说,临界应力随着杆截面积的增加而增大,随着杆长的增长而减小;对于多根杆,随着数量的增加临界应力相应增加。所以对于稳定性,可以通过改变支撑结构中圆杆的数量、圆杆的截面积和圆杆的长度来达到要求。

### 4 结束语

正如每种事物都有它的正反效应一样,柔性支撑结构系统也有它的优缺点,将它用于HT-7U这种大型装置还要通过各种计算和实验的方法进行计算和分析,不断地调整结构中的各项参数,不断优化设计,使之更加完善、合理。

#### 参考文献

- [1] 武松涛,等. HT-7U装置总体设计要求[C]. HT-7U装置设计文集, 1998.
- [2] 吴雪冰. HT-7U纵场磁体结构分析及螺管型实验[D]. 中国科学院等离子体物理研究所, 1999.
- [3] E Bondarchuk, S Krasnov, A Pann, etc. Review of the HT-7U supporting systems[R]. Attachment No. 1 to the Agreement for Research Cooperation Between the D V Efremov Institute and the Institute of Plasma Physics of the Chinese Academy of Science, 1999.
- [4] H Tanura, S Imagawa, H Hayashi, etc. Structural and mechanical design of cryogenic support system for LHD[J]. Fusion Technology, 1996; 1: 019 - 1 022.
- [5] R Gallix, C Sborchia, etc. Iter tokamak supports; Initial sizing and design[J]. Fusion Technology, 1996, 30(2): 1 071 - 1 074.