



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111417251 B

(45) 授权公告日 2022. 08. 09

(21) 申请号 202010264982.0

(22) 申请日 2020.04.07

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 111417251 A

(43) 申请公布日 2020.07.14

(73) 专利权人 哈尔滨工业大学  
地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西  
大直街92号

(72) 发明人 陈晚 郝焕锋 蒋洪平 刘剑利  
张健 张韬 陈启明 韩正男  
姚庆欢 李忠宇 李振宇 窦彦昕

(74) 专利代理机构 哈尔滨市阳光惠远知识产权  
代理有限公司 23211  
专利代理师 王海婷

(51) Int.Cl.

H05H 7/18 (2006.01)

H05H 13/00 (2006.01)

(56) 对比文件

WO 2018127990 A1, 2018.07.12

CN 202565565 U, 2012.11.28

CN 102651942 A, 2012.08.29

CN 110213878 A, 2019.09.06

CN 106385758 A, 2017.02.08

审查员 石锐

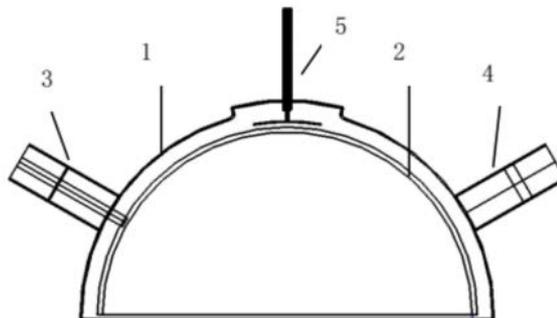
权利要求书1页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

一种高温超导无磁扼多离子变能量回旋加速器高频腔体

(57) 摘要

本发明提供了一种高温超导无磁扼多离子变能量回旋加速器高频腔体,包括半圆形外壳、半圆形加速电极Dee盒、粗调结构、细调结构和馈电结构,加速电极Dee盒设置在半圆形外壳内部,且电极Dee板的外周与半圆形外壳之间有间隙,粗调结构和细调结构分别位于半圆形外壳的两侧,粗调结构包括调谐杆,粗调圆筒和粗调短路片,细调结构包括细调圆筒和细调短路片,馈电结构为高频腔体传输高频能量,加速电极Dee盒提供离子加速电压,半圆形腔体外壳与电极的间隙提供离子加速高频电场,移动相应的短路片来调节高频腔体电磁场工作频率。本发明既可满足多离子变能量工作模式对频率调谐范围的要求,又可解决腔体频率调谐结构与磁铁线圈之间的干涉问题。



1. 一种高温超导无磁扼多离子变能量回旋加速器高频腔体,其特征在于:包括半圆形外壳(1)、加速电极Dee盒(2)、粗调结构(3)、细调结构(4)和馈电结构(5),所述加速电极Dee盒(2)为半圆形,所述加速电极Dee盒(2)设置在半圆形外壳(1)的内部,且加速电极Dee盒(2)的外周与半圆形外壳(1)之间设有间隙,所述粗调结构(3)和细调结构(4)分别位于半圆形外壳(1)的两侧,所述的粗调结构(3)包括调谐杆(8),粗调圆筒(6)和粗调短路片(7),所述的粗调圆筒(6)的一端与半圆形外壳(1)相连,所述的调谐杆(8)放置于粗调圆筒(6)内,调谐杆(8)的一端穿过半圆形外壳(1)与加速电极Dee盒(2)相连,所述的粗调短路片(7)连接调谐杆(8)和粗调圆筒(6),所述的粗调短路片(7)在粗调圆筒(6)内滑动设置,所述的细调结构(4)包括细调圆筒(9)和细调短路片(10),所述的细调圆筒(9)的一端与半圆形外壳(1)相连,所述的细调短路片(10)滑动设置在细调圆筒(9)内,所述馈电结构(5)自半圆形外壳(1)边缘处伸入高频腔体内;

所述馈电结构(5)为同轴线结构,为高频腔体传输高频能量,所述加速电极Dee盒(2)提供离子加速所需电压,半圆形外壳(1)与加速电极Dee盒(2)的间隙提供离子加速所需的高频电场,通过移动粗调结构(3)的粗调短路片(7)和移动细调结构(4)的细调短路片(10)来调节高频腔体电磁场工作频率;

所述馈电结构(5)包括馈电电容(11)、内芯(12)和外层导体(13),所述外层导体(13)与半圆形外壳(1)相连,所述内芯(12)放置于外层导体(13)围成的空间中并与馈电电容(11)相连,所述馈电电容(11)放置在加速电极Dee盒(2)和半圆形外壳(1)之间的空间中;

所述回旋加速器高频腔体工作于基波状态。

2. 根据权利要求1所述的一种高温超导无磁扼多离子变能量回旋加速器高频腔体,其特征在于:所述粗调短路片(7)和细调短路片(10)分别由一驱动电机带动移动。

3. 根据权利要求1-2中任一项所述的一种高温超导无磁扼多离子变能量回旋加速器高频腔体,其特征在于:所述粗调结构(3)和细调结构(4)对称布置在半圆形外壳(1)的两侧。

4. 根据权利要求3所述的一种高温超导无磁扼多离子变能量回旋加速器高频腔体,其特征在于:所述加速电极Dee盒(2)由陶瓷底座支撑。

## 一种高温超导无磁扼多离子变能量回旋加速器高频腔体

### 技术领域

[0001] 本发明属于粒子加速器领域,尤其是涉及一种高温超导无磁扼多离子变能量回旋加速器高频腔体。

### 背景技术

[0002] 加速器的高频腔体主要由加速腔及频率调谐结构组成,频率调谐结构的作用是改变高频腔体的工作频率,以适应不同离子的不同加速能量需求。频率调谐结构分粗调结构及细调结构,粗调结构一般为圆筒状,粗调结构一般沿加速器腔体扇形面法向分量放置,细调结构为片状插入式,一个典型的三次谐波模式双调谐结构回旋加速器高频腔体结构如图1所示。

[0003] 为了满足多离子变能量状态要求,也就是使得多种不同离子在回旋加速器中加速至指定能量状态的要求,高频腔体的工作频率需要具有较宽的调谐范围,因此高频腔体的调谐结构的物理尺寸往往较为庞大,否则难以达到符合要求的宽频带调谐指标。无磁扼方案的线圈结构经重新设计后,其结构与有磁扼结构差异较大,磁铁线圈结构常覆盖整个高频腔体上方。这意味着,实现高温超导无磁扼的线圈结构将与实现多离子变能量高频腔体庞大的频率调谐结构构成干涉,即由于空间不足,无法同时放置线圈及频率调谐结构。这一问题给高温超导无磁扼多离子变能量回旋加速器的高频腔体设计工作带来困难。

### 发明内容

[0004] 有鉴于此,本发明旨在提出一种高温超导无磁扼多离子变能量回旋加速器高频腔体,本发明提出的基于调谐结构侧面加载技术的基波模式半圆形高频腔体结构既可满足多离子变能量工作模式对频率调谐范围的要求,又可解决腔体频率调谐结构与磁铁线圈之间的干涉问题,为基于高温超导无磁扼技术的多离子变能量回旋加速器高频腔体设计指明了方向。

[0005] 为达到上述目的,本发明的技术方案是这样实现的:

[0006] 一种高温超导无磁扼多离子变能量回旋加速器高频腔体,包括半圆形外壳、加速电极Dee盒、粗调结构、细调结构和馈电结构,所述加速电极Dee盒为半圆形,所述加速电极Dee盒设置在半圆形外壳的内部,且加速电极Dee盒的外周与半圆形外壳之间设有间隙,所述粗调结构和细调结构分别位于半圆形外壳的两侧,所述的粗调结构包括调谐杆,粗调圆筒和粗调短路片,所述的粗调圆筒的一端与半圆形外壳相连,所述的调谐杆放置于粗调圆筒内,调谐杆的一端穿过半圆形外壳与加速电极Dee盒相连,所述的粗调短路片连接调谐杆和粗调圆筒,所述的粗调短路片在粗调圆筒内滑动设置,所述的细调结构包括细调圆筒和细调短路片,所述的细调圆筒的一端与半圆形外壳相连,所述的细调短路片滑动设置在细调圆筒内,所述馈电结构自半圆形外壳边缘处伸入高频腔体内;

[0007] 所述馈电结构为同轴线结构,为高频腔体传输高频能量,所述加速电极Dee盒提供离子加速所需电压,半圆形外壳与加速电极Dee盒的间隙提供离子加速所需的高频电场,通

过移动粗调结构的粗调短路片和移动细调结构的细调短路片来调节高频腔体电磁场工作频率。

[0008] 进一步的,所述馈电结构包括馈电电容、内芯和外层导体,所述外层导体与半圆形外壳相连,所述内芯放置于外层导体围成的空间中并与馈电电容相连,所述馈电电容放置在加速电极Dee盒和半圆形外壳之间的空间中。

[0009] 进一步的,所述粗调短路片和细调短路片分别由一驱动电机带动移动。

[0010] 进一步的,所述回旋加速器高频腔体工作于基波状态。

[0011] 进一步的,所述粗调结构和细调结构对称布置在半圆形外壳的两侧。

[0012] 进一步的,所述加速电极Dee盒由陶瓷底座支撑。

[0013] 相对于现有技术,本发明所述的一种高温超导无磁扼多离子变能量回旋加速器高频腔体具有以下优势:

[0014] (1)在不改动磁铁线圈结构的基础上,本发明将频率调谐结构置于高频腔体侧面,有效解决线圈与高频腔体频率调谐结构之间的干涉问题;

[0015] (2)本申请提出一种工作于基波模式而非高次谐波(如三次谐波)的半圆形高频腔体结构,可将中心频率降低,降低了对调谐结构的调谐范围要求;因此,大大降低了粗调结构的设计难度及尺寸;

[0016] (3)本发明通过设置圆筒+短路片的细调结构,短路片现有的调谐片对电容的影响更为明显,相比常规方案其调谐能力更强,弥补调谐范围侧面放置之后调谐能力降低的缺陷;

[0017] (4)本发明提出的基于调谐结构侧面加载技术的基波模式半圆形高频腔体结构既可满足多离子变能量工作模式对频率调谐范围的要求,又可解决腔体频率调谐结构与磁铁线圈之间的干涉问题,为基于高温超导无磁扼技术的多离子变能量回旋加速器高频腔体设计指明了方向。

## 附图说明

[0018] 构成本发明的一部分的附图用来提供对本发明的进一步理解,本发明的示意性实施例及其说明用于解释本发明,并不构成对本发明的不当限定。在附图中:

[0019] 图1为现有三次谐波模式双调谐结构回旋加速器高频腔体结构示意图;

[0020] 图2为本发明实施例所述的一种高温超导无磁扼多离子变能量回旋加速器高频腔体的俯视结构示意图;

[0021] 图3为粗调结构局部俯视剖面图;

[0022] 图4为细调结构局部俯视剖面图;

[0023] 图5为馈电结构局部俯视剖面图。

[0024] 附图标记说明:

[0025] 1-半圆形外壳,2-加速电极Dee盒,3-粗调结构,4-细调结构,5-馈电结构,6-粗调圆筒,7-粗调短路片,8-调谐杆,9-细调圆筒,10-细调短路片,11-馈电电容,12-内芯,13-外层导体。

## 具体实施方式

[0026] 需要说明的是,在不冲突的情况下,本发明中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。

[0027] 下面将参考附图并结合实施例来详细说明本发明。

[0028] 如图2-图5所示,一种高温超导无磁扼多离子变能量回旋加速器高频腔体,包括半圆形外壳1、加速电极Dee盒2、粗调结构3、细调结构4和馈电结构5,所述加速电极Dee盒2为半圆形,所述加速电极Dee盒2设置在半圆形外壳1的内部,且加速电极Dee盒2的外周与半圆形外壳1之间设有间隙,所述粗调结构3和细调结构2分别位于半圆形外壳1的两侧,所述的粗调结构3包括调谐杆8,粗调圆筒6和粗调短路片7,所述的粗调圆筒6的一端与半圆形外壳1相连,所述的调谐杆8放置于粗调圆筒6内,调谐杆8的一端穿过半圆形外壳1与加速电极Dee盒2相连,所述的粗调短路片7连接调谐杆8和粗调圆筒6,所述的粗调短路片7在粗调圆筒6内滑动设置,所述的细调结构4包括细调圆筒9和细调短路片10,所述的细调圆筒9的一端与半圆形外壳1相连,所述的细调短路片10滑动设置在细调圆筒9内,所述馈电结构5自半圆形外壳1边缘处伸入高频腔体内;

[0029] 所述馈电结构5为同轴线结构,为高频腔体传输高频能量,所述加速电极Dee盒2提供离子加速所需电压,半圆形外壳1与加速电极Dee盒2的间隙提供离子加速所需的高频电场,通过移动粗调结构3的粗调短路片7和移动细调结构4的细调短路片10来调节高频腔体电磁场工作频率。

[0030] 馈电结构5包括馈电电容11、内芯12和外层导体13,所述外层导体13与半圆形外壳1相连,所述内芯12放置于外层导体13围成的空间中并与馈电电容11相连,所述馈电电容11放置在加速电极Dee盒2和半圆形外壳1之间的空间中,不与加速电极Dee盒2和半圆形外壳1直接相连。本回旋加速器高频腔体工作于基波状态。

[0031] 粗调短路片7和细调短路片10分别由一驱动电机带动移动。

[0032] 粗调结构3和细调结构4对称布置在半圆形外壳1的两侧。

[0033] 加速电极Dee盒2由陶瓷底座支撑,陶瓷底座为具有一定机械强度的圆柱形结构,其材料为陶瓷;陶瓷底座放置在加速电极Dee盒与半圆形外壳之间,陶瓷底座的两侧分别与加速电极Dee盒及半圆形外壳相连,起到支撑加速电极Dee盒的作用。陶瓷底座具有耐高压,气密性好,绝缘性好且不影响高频腔体电磁学性能的优势。

[0034] 本发明与现有结构区别体现在三个方面,分别是腔体及电极,粗调结构以及细调结构。

[0035] 在腔体及电极方面:高频腔体及电极的结构一般为扇形,一般工作于高次谐波状态,因此腔体和电极的扇面角度约为30度左右,而本发明工作于基波状态,腔体和电极的扇面角度为180度,呈半圆形。

[0036] 在粗调结构方面:本申请的粗调结构并非设置在在腔体外壳上方,本申请为降低腔体纵向尺寸,将粗调结构放置于腔体侧面,与腔体及电极相连。

[0037] 在细调结构方面:相比于现有细调结构通常在粗调结构内,本申请单独布置细调结构,且包括细调短路片和细调圆筒,且细调结构也布置在半圆形外壳的侧面。

[0038] 通过以上的结构的设置,使得本发明有效避免调谐结构与磁铁线圈之间的干涉,并且通过采用基波工作模式,将中心频率降低,频率变化范围要求也随之降低,从而大大降

低了粗调结构的设计难度及尺寸,并且粗调结构位于半圆形外壳的侧面,也并不影响粗调结构的调谐能力;另外细调结构通过改变短路片与电极之间的距离的方式对电容改变的影响更明显,通过改变有效电容,从而来改变电磁场分布,使得细调范围更宽,相比常规方案其调谐能力更强,弥补调谐范围侧面放置之后调谐能力降低的缺陷。

[0039] 由于本发明涉及的多离子变能量回旋加速器的工作频率变化范围较宽且与中心频率成正比,中心频率越高则所需的变化范围越宽。采用基波工作模式可以降低中心频率,从而减小工作频率变化范围要求,达到降低设计难度的目的。

[0040] 本发明的工作原理及工作过程:高频能量由馈电结构5提供,馈电结构由内芯,外层导体以及馈电电容组成。内芯及外层导体负责将功率源产生的高频电磁能量传输至馈电电容,馈电电容通过与电极之间的电场耦合效应,将高频电磁能量耦合至电极上。

[0041] 外层导体与半圆形外壳及地相连,从而使得加速电极Dee盒2与半圆形外壳1之间产生电压差,加速电极Dee盒2与半圆形外壳1之间的缝隙也就存在了交变电场,当离子从外空间进入半圆形外壳1时首先要经过加速电极Dee盒2与半圆形外壳1之间的缝隙,此时交变电场会令离子加速;加速后的离子在外加磁场的作用下在加速电极Dee盒2内部做圆周运动,运动180度后将再次返回间隙,实现第二次加速;第二次加速后离子从半圆形外壳1中射出,并在外加磁场的作用下做圆周运动,运动180度后再次回到加速电极Dee盒2与半圆形外壳1之间的缝隙,周而复始,实现连续加速。

[0042] 通过粗调结构及细调结构来调节高频电磁场的频率,从而实现多种离子且能量可变的加速效果。电磁场的谐振频率与高频腔体的等效电感及等效电容都有关系,谐振频率与等效电感值开方及等效电容值开方成反比。本腔体结构的等效电感主要由粗调结构调谐杆提供,等效电容主要由外壳与电极之间的相互作用提供。当粗调短路片位置变化时,会导致等效电感发生改变,从而显著影响高频电磁场的频率。当细调短路片位置变化时,主要影响的是细调短路片与电极之间的等效电容,从而对高频电磁场的频率造成微弱改变。当工作频率需要大幅度改变时,需要调整粗调结构;工作频率需要微调时,只需调整细调结构。

[0043] 常规的三次谐波模式直立套筒设计方案与本发明提出的基波模式侧面放置调谐结构的新型方案的参数对比如表1所示。

[0044] 表1常规方案及本发明提出的新型方案指标对比表

方案	中心工作频率	粗调结构可实现的调谐范围	细调结构可实现的调谐范围	相对带宽指标要求	是否满足相对带宽指标要求	是否与磁铁线圈发生干涉
[0045] 传统方案	80.7MHz	56MHz~104MHz(48MHz)	0.15MHz	60%	是	是
本申请	55MHz	38.5MHz~71.5MHz(33MHz)	0.12MHz	60%	是	否

[0046] 由表1可见,本申请新型方案的中心频率比传统方案低,因此在相对带宽指标要求一定时,传统方案的频率变化总量为48MHz,而新型结构的频率调谐变化范围仅需变化33MHz即可满足相对带宽指标达到60%的要求。频率调谐变化范围要求的降低大幅减小了调谐结构的设计难度,同时避免了与磁铁线圈之间发生干涉,大大增加了新方案的可实现性。

[0047] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

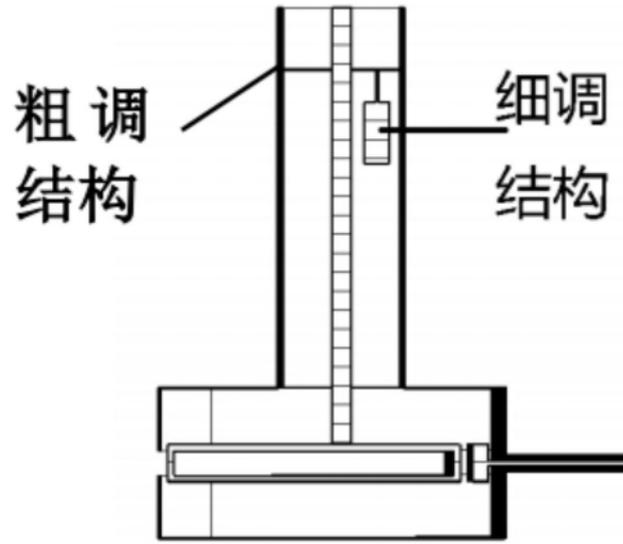


图1

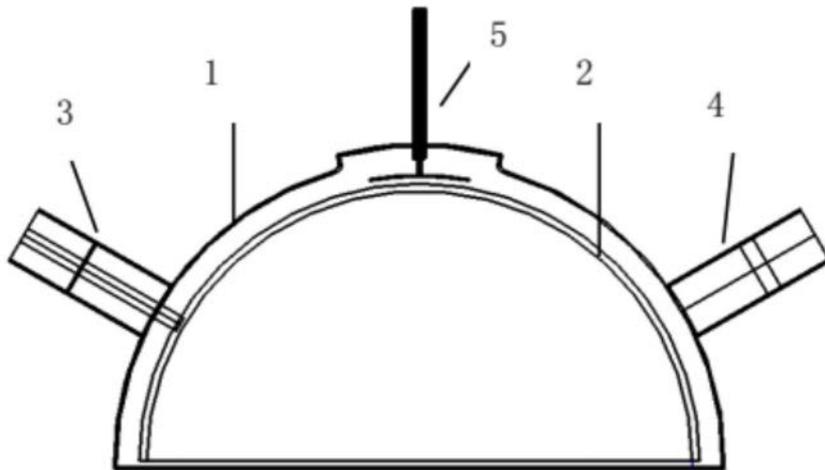


图2

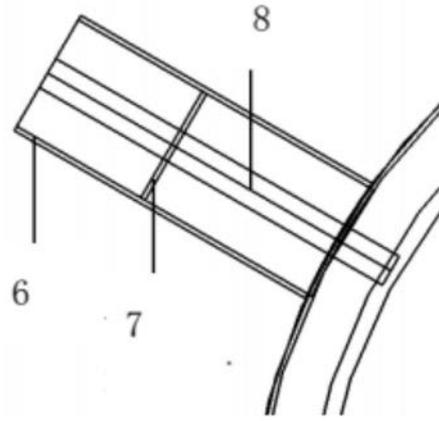


图3

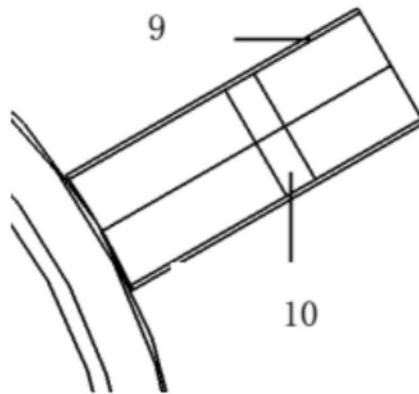


图4

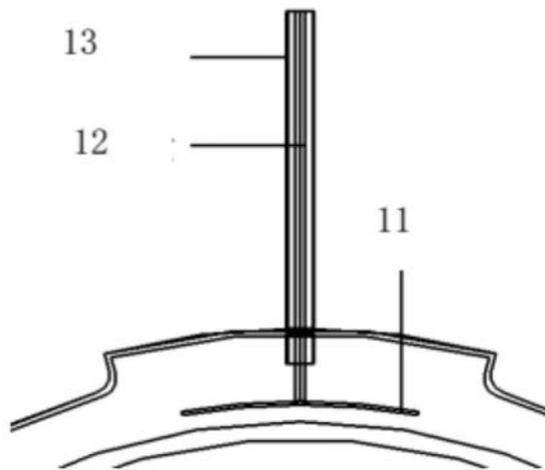


图5