



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105916285 B

(45)授权公告日 2018.01.30

(21)申请号 201610504937.1

审查员 郁亚红

(22)申请日 2016.06.30

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105916285 A

(43)申请公布日 2016.08.31

(73)专利权人 中国科学院上海应用物理研究所

地址 201800 上海市嘉定区嘉罗公路2019号

(72)发明人 赵振堂 方方程 赵明华 顾强

(74)专利代理机构 上海智信专利代理有限公司

31002

代理人 邓琪 杨希

(51)Int.Cl.

H05H 9/02(2006.01)

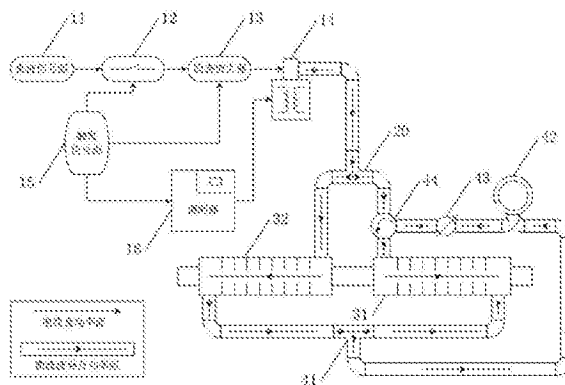
权利要求书1页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种基于混合式行波加速结构的双能量电子直线加速器

(57)摘要

本发明涉及一种基于混合式行波加速结构的双能量电子直线加速器的双能量电子直线加速器,其包括依次连接的:功率源系统,其提供脉冲微波功率,并在预设时刻同时输出一180度相位翻转信号;功率分配器,其具有一个与所述功率源系统连接的输入口以及两个输出口;混合式行波加速结构,其包括分别与所述功率分配器的两个输出口连接的前波加速段和反波加速段;以及微波功率回收系统。本发明通过采用混合式行波加速结构,可大大缩短脉冲微波功率在加速结构中的填充时间;通过控制产生180度相位翻转信号的时间节点,即可实现能量倍增器的储能时间可调,从而实现能量倍增器的输出功率水平可调,进而实现电子束能量的快速可调。



1. 一种基于混合式行波加速结构的双能量电子直线加速器,其特征在于,该加速器包括依次连接的:

功率源系统,其提供脉冲微波功率,并在预设时刻同时输出一180度相位翻转信号;

功率分配器,其具有一个与所述功率源系统连接的输入口以及两个输出口;

混合式行波加速结构,其包括分别与所述功率分配器的两个输出口连接的前波加速段和反波加速段,该前波加速段和反波加速段分别接收所述功率分配器平均分配的脉冲微波功率,建立具有第一强度的第一加速电场,以将注入的第一个电子束团加速至第一能量水平;以及

微波功率回收系统,其包括依次连接的:

第一功率合成器,其将所述前波加速段和反波加速段输出的脉冲微波功率进行合成;

能量倍增器,其存储所述第一功率合成器输出的脉冲微波功率,并在接收到从所述功率源系统输出的所述180度相位翻转信号后,将存储的脉冲微波功率成倍地释放;以及

第二功率合成器,其具有两个输入口和一个输出口,其中一个输入口与所述能量倍增器连接,另一个输入口与所述功率分配器的连接至所述前波加速段的输出口相连,且该第二功率合成器的输出口与所述前波加速段相连;

其中,所述第二功率合成器配置为将从所述功率分配器输出的脉冲微波功率以及从所述能量倍增器释放的脉冲微波功率进行合成,并输出至所述前波加速段,以使该前波加速段建立具有第二强度的第二加速电场,以将注入的第二个电子束团加速至第二能量水平,其中,所述第二强度大于第一强度,所述第二能量水平高于第一能量水平;

其中,所述功率源系统包括依次连接的:

微波信号源,其提供一连续微波信号;

180度相位开关,其根据一外部输入的控制信号,在所述预设时刻将所述连续微波信号的相位翻转180度,并产生所述180度相位翻转信号;以及

速调管,其根据所述连续微波信号,产生所述脉冲微波功率,并在所述预设时刻同时输出所述180度相位翻转信号。

2. 根据权利要求1所述的基于混合式行波加速结构的双能量电子直线加速器,其特征在于,所述微波功率回收系统还包括连接在所述能量倍增器的输出口与第二功率合成器的一个输入口之间的移相器,其对所述能量倍增器释放的脉冲微波功率进行相位匹配。

3. 根据权利要求1所述的基于混合式行波加速结构的双能量电子直线加速器,其特征在于,所述功率源系统还包括:

与所述180度相位开关连接的触发信号源,其在所述预设时刻向所述180度相位开关输出所述控制信号;

连接在所述180度相位开关与速调管之间的固态放大器,其根据所述触发信号源输出的另一控制信号,将所述连续微波信号放大并输出至所述速调管;以及

连接在所述触发信号源与速调管之间的调制器,其根据所述触发信号源输出的又一控制信号,向所述速调管输出一直流高压信号。

4. 根据权利要求1所述的基于混合式行波加速结构的双能量电子直线加速器,其特征在于,所述第二功率合成器为铁氧体功率合成器。

一种基于混合式行波加速结构的双能量电子直线加速器

技术领域

[0001] 本发明涉及一种电子加速器,尤其涉及一种能量快速可调的基于混合式行波加速结构的双能量电子直线加速器。

背景技术

[0002] 双能量电子束在医学加速器中存在广泛应用,通过打靶可以实现不同能量的双光子,低能量光子可以用于实时成像,高能量光子用于X射线放射治疗,由此可以实现影像引导的放射治疗(IGRT)。目前双光子功能实现的传统方法是采用双加速器、机械式能量开关等,然而,这种传统的实现方法存在设备庞大,或者响应时间长等局限。

[0003] 同时,在医学加速器中,要求电子束能量可调,以实现X射线能量可调,从而用于不同治疗方案。传统方法通常是通过调整功率水平来改变电子束能量,但这同时也会改变聚束管的束流特征,而且如果超过聚束管的调节范围则无法俘获足够的电子束团,因此传统方法的能量调节范围较小。

[0004] 另外,传统加速器为了提高功率利用率,通常会采用阻抗更高的驻波加速管,这可以非常有效的减少功率需求,但同时带来填充时间长的问题,因此需要较长宏脉冲长度,同时无法在脉冲内进行束流能量操控。

发明内容

[0005] 为了解决上述现有技术存在的问题,本发明旨在提供一种基于混合式行波加速结构的双能量电子直线加速器,以实现电子束能量的快速可调,并且在减少功率需求的同时,减少填充时间。

[0006] 本发明所述的一种基于混合式行波加速结构的双能量电子直线加速器,其包括依次连接的:

[0007] 功率源系统,其提供脉冲微波功率,并在预设时刻同时输出一180度相位翻转信号;

[0008] 功率分配器,其具有一个与所述功率源系统连接的输入口以及两个输出口;

[0009] 混合式行波加速结构,其包括分别与所述功率分配器的两个输出口连接的前波加速段和反波加速段,该前波加速段和反波加速段分别接收所述功率分配器平均分配的脉冲微波功率,建立具有第一强度的第一加速电场,以将注入的第一个电子束团加速至第一能量水平;以及

[0010] 微波功率回收系统,其包括依次连接的:

[0011] 第一功率合成器,其将所述前波加速段和反波加速段输出的脉冲微波功率进行合成;

[0012] 能量倍增器,其存储所述第一功率合成器输出的脉冲微波功率,并在接收到从所述功率源系统输出的所述180度相位翻转信号后,将存储的脉冲微波功率成倍地释放;以及

[0013] 第二功率合成器,其具有两个输入口和一个输出口,其中一个输入口与所述能量

倍增器连接,另一个输入口与所述功率分配器的连接至所述前波加速段的输出口相连,且该第二功率合成器的输出口与所述前波加速段相连;

[0014] 其中,所述第二功率合成器配置为将从所述功率分配器输出的脉冲微波功率以及从所述能量倍增器释放的脉冲微波功率进行合成,并输出至所述前波加速段,以使该前波加速段建立具有第二强度的第二加速电场,以将注入的第二个电子束团加速至第二能量水平,其中,所述第二强度大于第一强度,所述第二能量水平高于第一能量水平。

[0015] 在上述的基于混合式行波加速结构的双能量电子直线加速器中,所述微波功率回收系统还包括连接在所述能量倍增器的输出口与第二功率合成器的一个输入口之间的移相器,其对所述能量倍增器释放的脉冲微波功率进行相位匹配。

[0016] 在上述的基于混合式行波加速结构的双能量电子直线加速器中,所述功率源系统包括依次连接的:

[0017] 微波信号源,其提供一连续微波信号;

[0018] 180度相位开关,其根据一外部输入的控制信号,在所述预设时刻将所述连续微波信号的相位翻转180度,并产生所述180度相位翻转信号;以及

[0019] 速调管,其根据所述连续微波信号,产生所述脉冲微波功率,并在所述预设时刻同时输出所述180度相位翻转信号。

[0020] 在上述的基于混合式行波加速结构的双能量电子直线加速器中,所述功率源系统还包括:

[0021] 与所述180度相位开关连接的触发信号源,其在所述预设时刻向所述180度相位开关输出所述控制信号;

[0022] 连接在所述180度相位开关与速调管之间的固态放大器,其根据所述触发信号源输出的另一控制信号,将所述连续微波信号放大并输出至所述速调管;以及

[0023] 连接在所述触发信号源与速调管之间的调制器,其根据所述触发信号源输出的又一控制信号,向所述速调管输出一直流高压信号。

[0024] 在上述的基于混合式行波加速结构的双能量电子直线加速器中,所述第二功率合成器为铁氧体功率合成器。

[0025] 由于采用了上述的技术解决方案,本发明通过采用混合式行波加速结构,可大大缩短脉冲微波功率在加速结构中的填充时间,即,实现功率的快速填充;当功率源系统未输出180度相位翻转信号时,由混合式行波加速结构中的前波加速段和反波加速段对首个电子束团进行加速以使其提高至第一能量水平,并且通过微波功率回收系统对前波加速段和反波加速段输出的剩余的脉冲微波功率进行回收储存,而当达到预设时刻功率源系统输出180度相位翻转信号后,则通过微波功率回收系统中的能量倍增器成倍释放储存的脉冲微波功率,并通过第二功率合成器将能量倍增器释放的脉冲微波功率与功率源系统输出的脉冲微波功率合成后输入前波加速段,从而使前波加速段将第二个电子束团加速至更高的第二能量水平,由此实现双能量电子加速。另外,通过控制产生180度相位翻转信号的时间节点,即可实现能量倍增器的储能时间可调,从而实现能量倍增器的输出功率水平可调,进而实现电子束能量的快速可调。

附图说明

[0026] 图1是本发明一种基于混合式行波加速结构的双能量电子直线加速器的结构示意图。

具体实施方式

[0027] 下面结合附图,给出本发明的较佳实施例,并予以详细描述。

[0028] 如图1所示,本发明,即一种基于混合式行波加速结构的双能量电子直线加速器,其包括:通过电缆或微波波导依次连接的功率源系统、功率分配器20、混合式行波加速结构以及微波功率回收系统。

[0029] 功率源系统具体包括:依次连接的微波信号源11、180度相位开关12、固态放大器13和速调管14,与180度相位开关12以及固态放大器13连接的触发信号源15以及连接在触发信号源15与速调管14之间的调制器16,其中:

[0030] 微波信号源11用于提供毫瓦级功率的连续微波信号;

[0031] 180度相位开关12用于根据触发信号源15输出的控制信号,在预设时刻将连续微波信号的相位翻转180度,并产生相应的180度相位翻转信号;

[0032] 固态放大器13用于根据触发信号源15输出的控制信号,将连续微波信号增至百瓦级功率的脉冲微波信号;

[0033] 调制器16用于根据触发信号源15输出的控制信号,产生相应的几十千伏的直流高压信号;

[0034] 速调管14接收直流高压信号并将脉冲微波信号转换为MW级脉冲微波功率,以输出至功率分配器20,并在预设时刻同时输出180度相位翻转信号;

[0035] 触发信号源15用于分别向180度相位开关12、固态放大器13以及调制器16输出相应的控制信号,以控制它们的工作时间,从而将180度相位翻转信息加载至脉冲微波功率的不同时间点。

[0036] 功率分配器20用于将功率源系统输出的脉冲微波功率馈入混合式行波加速结构,其具有一个与速调管14连接的输入口及两个输出口。

[0037] 混合式行波加速结构具体包括:分别与功率分配器20的两个输出口连接的前波加速段31和反波加速段32,该前波加速段31和反波加速段32分别接收平均分配的脉冲微波功率,建立具有第一强度的第一加速电场,以将注入的第一个电子束团加速至第一能量水平,并分别将剩余的脉冲微波功率通过各自的输出口输出至微波功率回收系统。

[0038] 微波功率回收系统具体包括:依次连接的第一功率合成器41、能量倍增器42、移相器43和第二功率合成器44,其中:

[0039] 第一功率合成器41用于将前波加速段31和反波加速段32输出的脉冲微波功率合成,其具有两个分别与前波加速段31和反波加速段32的输出口连接的输入口,还具有一个与能量倍增器42连接的输出口;

[0040] 能量倍增器42用于存储第一功率合成器41输出的脉冲微波功率,并在接收到从速调管14输出并经过功率分配器20、混合式行波加速结构以及第一功率合成器41的180度相位翻转信号后,将存储的脉冲微波功率成倍地释放;

[0041] 移相器43用于对能量倍增器42释放出的脉冲微波功率进行相位匹配;

[0042] 第二功率合成器44(具体为铁氧体功率合成器)具有两个输入口和一个输出口,其

中一个输入口与移相器43连接,另一个输入口与功率分配器20的连接至前波加速段31的输出口相连,第二功率合成器44的输出口与前波加速段31相连,第二功率合成器44用于将从功率分配器20提供的脉冲微波功率以及从移相器43输出的脉冲微波功率进行合成,并输出至前波加速段31,以使该前波加速段31建立具有第二强度的第二加速电场,以将注入的第二个电子束团加速至第二能量水平,其中,第二强度大于第一强度,第二能量水平高于第一能量水平。

[0043] 本发明的主要工作原理如下:

[0044] 首先,由微波信号源11产生连续微波信号(即激励信号),在预设时刻经过180度相位开关12进行相位翻转,激励信号馈入速调管14进行激励,产生高水平脉冲微波功率,并在预设时刻附带有180度相位翻转信号;接着,脉冲微波功率由3dB功率分配器20进行平均分配,分别馈入混合式行波加速结构的前波加速段31和反波加速段32,在一个填充时间之后,脉冲微波功率完全填充加速结构,完成第一阶段加速梯度状态;然后,加速结构两端输出功率通过3dB第一功率合成器41汇集,注入紧凑型能量倍增器42,在180度相位翻转信号到达之前,进行功率储存,提高脉冲微波功率水平,待180度相位翻转信号到达,能量倍增器42由储能状态变为放能状态,释放更高水平的脉冲微波功率;最后,脉冲微波功率通过第二功率合成器44,与功率源系统提供的脉冲微波功率合成后,馈入前波加速段,进而大幅度提高其内部的加速梯度,并经过一个填充时间后,脉冲微波功率完全填充前波加速段,完成第二阶段加速梯度状态。

[0045] 由此,在单个微波脉冲周期内,既保证了相同聚束过程,又实现了不同能量的双电子束团加速。具体来说,在单个微波脉冲周期内,实现两个阶段的加速梯度状态。在第一阶段中,整个加速结构处于低加速梯度状态,待脉冲微波功率刚完成填充状态时,第一个电子束团注入加速结构,首先被反波加速段进行聚束俘获,并迅速加速至光速状态;在第二阶段中,反波加速段的加速梯度未受影响,而前波加速段的加速梯度得到大幅提升,在一个填充时间之后,脉冲微波功率完全填充前波加速段,第二个电子束团注入加速结构,由于反波加速段未受影响,因此聚束效果与第一个电子束团保持一致,无需进行幅相调节,而经过更高加速梯度的前波加速段,电子束团经过更高的加速梯度,从而获得比第一个电子束团更高的能量。

[0046] 通过改变上述180度相位翻转时间点,就可以在脉冲与脉冲间,对第二个电子束团的能量进行快速调节。具体来说,180度相位翻转时间点可以控制能量倍增器的输出功率水平,而触发信号源输出的控制信号可以控制180度相位开关的作用时间,因此通过数字电路调节该控制信号的作用时间,可以调节能量倍增器的输出功率水平。目前微波脉冲的重复周期大约在毫秒级,数字电路完全可以满足毫秒级的响应速度,因此可以利用数字电路对能量倍增器输出功率进行脉冲间快速调节,进而调节第二个电子束团的能量。而在整个过程中,第一个电子束团保持加速过程和能量不变。

[0047] 在本发明中,利用外触发控制的180度相位开关,结合能量倍增器的储能和放能特征,可以在微波脉冲内阶跃式调节输入功率,实现不同能量双电子束团加速,其中,该180度相位开关由电子学控制实现,可以较快的实现切换,一般切换速度可以达到十纳秒级别,远远快于机械能量开关。

[0048] 同时,在未达到饱和状态前,能量倍增器的输出功率与储能时间相关,储能时间越

长,在电子相位开关作用后,能量倍增器的输出功率越高。通过控制电子相位开关的作用时间,以此调节能量倍增器的储能时间,进而调节输出功率水平,最终可以加速获得不同能量的电子束团。由于该方案由数字电路实现控制,因此具有自动化控制、响应速度快以及微波功率幅相稳定等优点,且易于维护,可以实现pulse-to-pulse的能量快速调节。

[0049] 另外,本发明采用混合式行波加速结构,具有聚束过程稳定、分路阻抗高和填充时间短等优点,其中,前端为反波加速段,阻抗高,作为聚束段,将电子快速加速至光速,聚束效果明显;同时该聚束段独立于微波功率回收系统,在双能量和能量调节过程中聚束过程及效果保持不变,因此聚束效果非常稳定,无需进行其他幅相调节;而且两段加速段均采用行波式结构,填充时间极短,因此可以在极短时间内完成功率填充,进行第一电子束团的加速,然后留有足够长的时间进行功率储存和释放,实现双能量和能量调节方案。

[0050] 进一步地,本发明利用紧凑型能量倍增器的储能特征,结合第一功率合成器,进行功率回收,将功率节省至少50%。并且在脉冲内实现双能量电子束加速,而传统方案中至少需要两个脉冲才能实现,因此功率至少节省了50%。

[0051] 综上所述,本发明具有以下优点:

[0052] 1、本发明能够在微波脉冲时间尺度范围内(微秒尺度),利用180相位开关进行时间分割,并利用能量倍增器对第二阶段的脉冲微波功率进行增强,从而在两阶段内建立不同强度的加速电场,分别将两注电子束加速至不同的能量水平,因此具有自动化控制和响应极快等优点;

[0053] 2、本发明通过控制180相位开关的作用时间,可将经过能量倍增器储存并增强的回收的脉冲微波功率按预设时刻释放并耦合至前波加速段,由此可调节能量倍增器输出的脉冲微波功率水平,在不影响第二个电子束团聚束状态情况下,对第二个电子束团的能量水平进行调节,因此具有响应迅速和脉冲间调节等优点。

[0054] 3、本发明采用的混合式行波加速结构结合了前波结构的优良束流品质以及反波结构的高阻抗等优点,其中,加速结构上游的反波加速段担任聚束段角色,将电子束团进行聚束并加速至光速;在整个微波脉冲范围内加速电场分布保持不变,因此在双能量方案和能量调节方案中,不改变两个电子束团的聚束效果;而前波加速段则担任加速段角色,将反波加速段输出的电子束加速至更高能量,在180度相位开关作用后的第二阶段中,将加速电场提升至更高水平,将第二个电子束团加速至更高能量水平,从而实现了双能量电子加速。

[0055] 以上所述的,仅为本发明的较佳实施例,并非用以限定本发明的范围,本发明的上述实施例还可以做出各种变化。即凡是依据本发明申请的权利要求书及说明书内容所作的简单、等效变化与修饰,皆落入本发明专利的权利要求保护范围。本发明未详尽描述的均为常规技术内容。

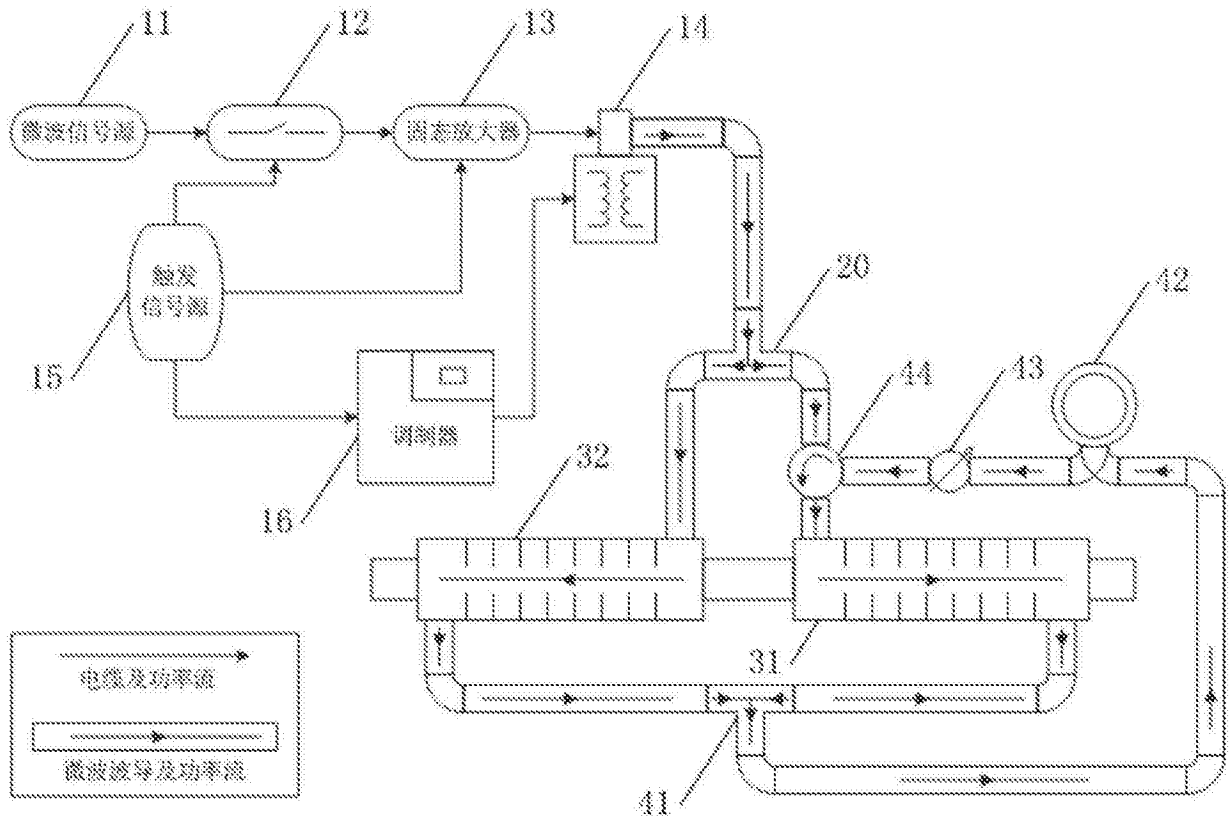


图1