

一种磁式质谱计多接收杯调节机构的设计

杨少华^{1,2} 苗凯^{1,2} 李皓云^{1,2}

(1 四川红华实业有限公司 四川 乐山 614000; 2 中核集团质谱分析技术重点实验室
四川 乐山 614000)

摘要: 文章设计了一种磁式质谱计接收杯调节装置。利用 SolidWorks 软件开展了三维结构设计, 完成了该装置的加工和多接收法拉第杯实物匹配性实验测试。该装置具有单个接收杯独立调节功能, 调节精度高; 同时该设计采用立体式装配结构, 置于接收器筒腔内, 结构紧凑。通过密封端子法兰实现供电驱动和信号传递, 提高了接收器筒体的整体密封效果。

关键词: 接收器; 多接收法拉第杯; 接收杯调节

0 引言

磁式质谱仪的工作原理是离子束流经过质量分析器按质荷比大小分离后, 传送至检测器测定相应的离子流强度比, 获得欲测物质的同位素比或丰度值^[1]。离子接收器是位于质谱仪末端的检测系统, 用以测量、记录离子流强度而得出质谱图。由于不同物质在仪器中的色散和偏转半径的不同, 离子聚焦位置会发生变化^[2], 因此我们要根据不同的待测位置去调节接收杯的位置。接收杯的位置需要通过接收杯调节机构来实现。

某公司最新开发的仪器, 需要应用到可调式接收杯结构。根据设计需求最多需要安装 9 个法拉第接收杯, 包括 1 个固定杯和 8 个调节杯。要求各接收杯的最小间距为 0.1mm, 最远两个接收杯的距离为 90mm, 位置精度和调节精度要求均要达到 0.02mm。

针对现有质谱仪接收杯调节机构采购成本高、后期维保困难、仪器开发设计拓展性受限等缺陷, 自主研发设计了一种加工简单、成本低廉、维保容易的腔内接收杯调节机构。

1 设计思路

1.1 设计难点

(1) 接收器筒体内为高真空状态, 要求调节驱动电动机可以在高真空状态下正常运动;

(2) 为了保证腔体内的真空环境, 接收器筒体体积应尽量设计最小化, 因此受到装配空间影响, 装配时各零部件及引线易受到干涉;

(3) 调节精度要求较高, 因此需要采用最直接的连接方式, 尽量减少过渡零件。

1.2 解决思路

(1) 选用国产高真空步进电动机作为驱动电动机;

(2) 调节控制单元采用立体式装配设计, 将调控单

元分上、下两组装配, 从而减少占用空间;

(3) 整体机构从核心零件开始统筹设计, 避免干涉, 在保证结构强度的前提下体积最小化;

(4) 采用单连接杆连接方式, 去除不必要的过渡零件, 减小装配误差和调节游隙量。

设计采用每个接收杯单独控制的方式, 通过高真空步进电动机驱动; 通过编写的控制程序, 经控制器模块实现接收杯单独控制。该机构由调控单元、支撑架、接收杯连接件等组件构成。

调控单元是实现法拉第接收杯精准调节的关键部件, 机械设计部分根据法拉第接收杯需要调节的最大位移量来选择和设计, 要求结构紧凑、反复定位调节精度高、准确定位速度快、使用寿命长。

由于需要 8 个调节杯, 因此设计采用立体式装配方式, 将调控单元分上、下两组装配, 确保在有限的空间内可以合理装配更多的接收杯。

为了保证调节精度, 采用连接杆直接装配安装的设计。仪器的设计, 要求所有接收杯的入口狭缝在同一个竖直平面上, 并且各接收杯的水平中心平面要与离子入射的轨迹中心处于同一水平面。

2 结构设计

2.1 调控单元的设计

选择“一维单只单滑块直线模组”作为调控单元。并以此为基础对组成直线模组的各核心零件进行非标尺寸设计。选择的滚珠丝杠具有摩擦系数小、效率高、没有无效行程, 能微量进给、高刚性等优点。该直线模组主要由真空步进电动机、滚珠丝杠、联轴器、电动机座、直线导轨、滑台、底座等零件组成。其结构如图 1 所示。

由于受到接收器筒体密封法兰大小的影响, 直线模组的尺寸设计要采用最小化原则, 减轻整个装置的体积和重量。根据需求选择了尺寸为 35mm×38mm、两相

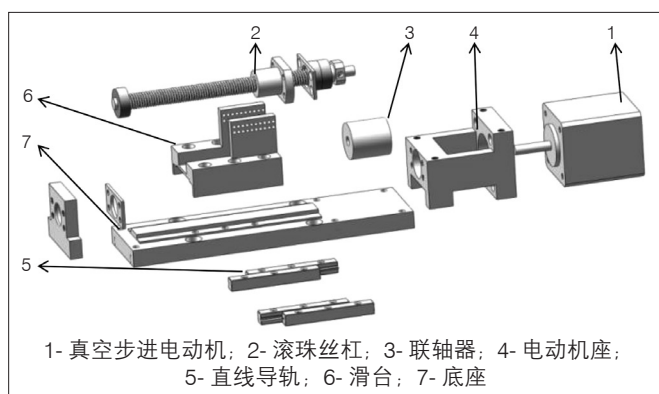


图1 电动机模组结构设计示意图

真空步进电动机, 型号为 HY3538。

根据仪器设计的精度和行程要求, 通过导程精度对照表和滚珠丝杠的精度等级选择为 C0 (运行距离误差 $3\mu\text{m}/300\text{mm}$); 根据精度等级以及对照各精度等级精密滚珠丝杠的最大制作长度参照表^[3], 将丝杠设计为导程 2mm、轴外径 6mm 的丝杠有效长度 90mm。根据丝杠设计对轴承、联轴器、传动螺母进行标准件的选型。

电动机座根据电动机、联轴器、轴承的尺寸以及连接方式进行了设计, 由于体积较小, 装配孔较多, 因此有很高的同轴度要求, 除必要的装配固定所需, 切除不必要的部分以减少装配干涉, 零件表面粗糙度要求为 $0.8\mu\text{m}$, 同轴度要求为 0.01mm。

滑轨采用标准件, 长度为丝杠螺纹有效长度的 1/2 即 45mm。

滑台根据滚珠丝杠组件、滑轨进行设计, 与传动螺母进行连接。法拉第接收杯的设计宽度为 2.1mm, 接收杯的最小间距为 0.1mm, 装配螺纹为 M1.6 螺纹。

底座的尺寸设计根据电动机座、丝杠、滑台的尺寸进行设计, 经 SW 三维建模匹配得到合理尺寸, 在座上根据各零部件的装配需求设计装配孔, 并绘制了加工工程图。该零件的加工尺寸精度要求均为 0.02mm, 粗糙度要求为 $Ra0.8\mu\text{m}$ 。

2.2 支撑架的设计

支撑架的作用是承载电动机模组^[4], 利用销钉、螺钉将侧支撑板装配在上下固定板上, 构成一个箱体, 将电动机模组按照设计的装配位置进行装配排列。侧支撑板的高度设计要根据仪器的离子轨迹进行设计, 保证所有法拉第接收杯的中心线在同一水平面上。通过计算得出侧支撑板的高度为 154mm。

2.3 接收杯连接件的设计

连接件分两种, 一是固定杯连接件, 二是可调杯连接件。固定杯连接件安装在电动机座上, 保持位置固定不可调。可调杯连接件采用 T 型设计, 接收杯连接杆的宽度根据接收杯的宽度进行设计, 为 2.1mm, 其上开有接收杯装配孔, 与接收杯上的安装孔配合, 利用 M1.2

的螺栓进行固定连接, 根据装配距离对各配合连接杆的尺寸进行计算, 连接杆分为 L1、L2、L3、L4 四个尺寸。尺寸关系为: $L2=L1+(38+1)$; $L3=L1+2\times(38+1)$; $L4=L1+3\times(38+1)$ 。

2.4 自控系统的设计

自控系统主要包括步进电动机驱动器和控制程序的编写。通过自控系统, 可以实现在计算机上直接对 8 个可调法拉第接收杯位置的精准调节和控制。根据步进电动机的型号、控制精度要求、电动机负载的大小来选择电动机驱动器的型号, 根据调节需求和自控原理对自控程序进行编写, 达到了单杯调节、精准控制的效果。

2.5 整体设计效果

各组件设计完成后, 利用 SolidWorks 软件按照设计尺寸进行三维建模, 并进行模拟装配, 得到如图 2 所示的效果图。

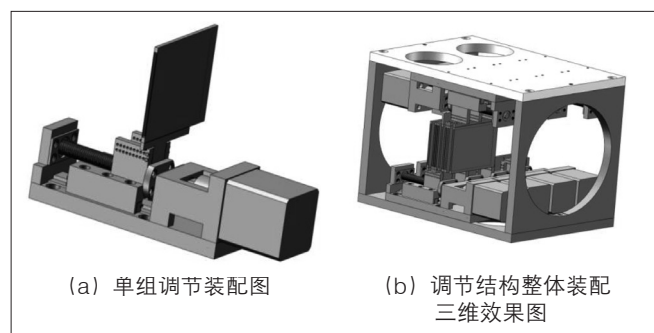


图2 腔内接收杯调节机构三维效果图

3 试验

对加工完成后的零件进行测量, 按照装配工程图进行装配, 并进行相关试验。

(1) 零部件加工完成后, 利用游标卡尺以及三坐标测量平台对各零部件外形尺寸、平行度、表面粗糙度进行测量, 以保证满足设计要求;

(2) 在光学平台上完成法拉第接收杯调节装置的装配。

装配完成后对装配精度进行检验: (1) 使用激光水平仪对装配后各法拉第接收杯的水平、垂直度进行检验, 并对各法拉第接收杯的入口狭缝位置进行测量, 保证 9 个接收杯的入口狭缝在同一个平面 (图 3); (2) 在各接收杯处于最小间隙时使用万用表进行测量, 确保各接收杯之间不存在碰触的情况, 相互绝缘; (3) 使用放大倍率为 40 倍、刻度值为 0.05mm 的测量显微镜对各法拉第杯之间的最小距离进行测量, 并记录数据如表 1 所示。

表1 实测各接收杯之间的最小间隙

名称	左4	左3	左2	左1	右1	右2	右3	右4
间隙/mm	0.12	0.11	0.11	0.12	0.11	0.12	0.11	0.10

表2 丝杠调节机构实验数据记录表

单位: mm

名称	左4		左3		左2		左1		右1		右2		右3		右4	
	设计位置	实际位置	设计位置	实际位置	设计位置	实际位置	设计位置	实际位置	设计位置	实际位置	设计位置	实际位置	设计位置	实际位置	设计位置	实际位置
1组	2.50	2.49	5.00	4.99	7.50	7.49	10.00	10.00	2.50	2.48	5.00	5.02	7.50	7.49	10.00	10.00
2组	3.50	3.48	7.00	7.00	10.50	10.51	14.00	13.98	3.50	3.50	7.00	7.01	10.50	10.51	14.00	13.99
3组	2.20	2.20	4.40	4.39	6.60	6.61	25.00	24.98	2.20	2.19	4.40	4.42	6.60	6.61	25.00	25.00
4组	3.00	3.01	6.00	5.99	9.00	9.00	35.00	35.01	3.00	2.98	6.00	6.01	9.00	9.02	35.00	34.99
5组	5.00	4.99	10.00	9.99	20.00	20.02	45.00	45.00	5.00	4.99	10.00	10.02	20.00	20.01	45.00	45.00
误差	0.02		0.01		0.02		0.02		0.02		0.02		0.02		0.01	



图3 对接收杯进行检测

该记录显示各接收杯的初始位置精度误差为0.02mm, 达到了设计要求。

使用各电动机模组对接收杯位置进行调节。以固定杯中心轴线为零点, 设计模拟5组调节位置对8个可调法拉第接收杯进行调节。调节完成后对接收杯位置进行测量, 测量结果对比如表2所示。根据记录数据显示, 该调节机构的调节位置误差为0.02mm, 验证该装置的调节精度达到了设计要求。

4 结语

(1) 利用 SolidWorks 软件设计了一种全新的质谱仪接收杯调节机构, 该机构可以实现最多9个法拉第

接收杯自动调节的功能, 调节精度达到了0.02mm。

(2) 本设计在结构上省去了接收器筒上的小密封法兰, 从而降低了接收器的加工难度和成本; 所有零部件都可以在国内加工完成, 降低了法拉第接收杯调节机构的加工、采购和维保等成本。

(3) 该机构属于自主设计开发, 对后续新型质谱仪的研发工作提供了一定的技术支撑。

参考文献:

- [1] 黄敏, 陈彦. 表面热电离质谱计的进展 [J]. 分析科学学报, 1996(03): 418-420.
- [2] 刘重芄. MAT261 热电离固体质谱计 Sr 同位素多接收器的技术改造 [J]. 成都: 成都理工大学, 2006.
- [3] 聂应新, 邢俊岩, 王成举. 滚珠丝杠进给系统设计关键技术研究 [J]. 世界制造技术与装备市场, 2020(01): 76-79.
- [4] 范钦珊. 材料力学 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004: 18.