

质谱计电磁铁精准微调定位装置的设计

杨少华 吴静 苗凯 李皓云

(四川红华实业有限公司 四川 乐山 614000)

摘要: 文章设计了一种质谱计电磁铁精准微调定位装置。通过对质谱计电磁铁在使用过程中所需的微动调节、精准定位和稳固锁定等功能进行分析,利用 SolidWorks 软件有针对性地开展三维结构设计,并完成了样机加工和电磁铁实物的匹配性实验测试。该设计具有多方向独立调节和锁紧功能,调节精度高,电磁铁运动较灵活。另外,该设计还具有结构紧凑、安装方便、成本低等特点。该装置可应用于四川红华实业有限公司研制的各类磁式质谱计中,从而提升仪器性能,具有很好的实际应用价值。

关键词: 电磁铁;精准调节;定位装置

0 引言

磁式质谱计是一种利用不同荷质比的离子在电磁场中会进行分离的原理,对待测物质同位素丰度进行精密测定的大型分析仪器。质量分析器是其核心部件,主要由分离电磁铁、真空偏转扁管和电磁铁调节定位装置等组成(图1)。

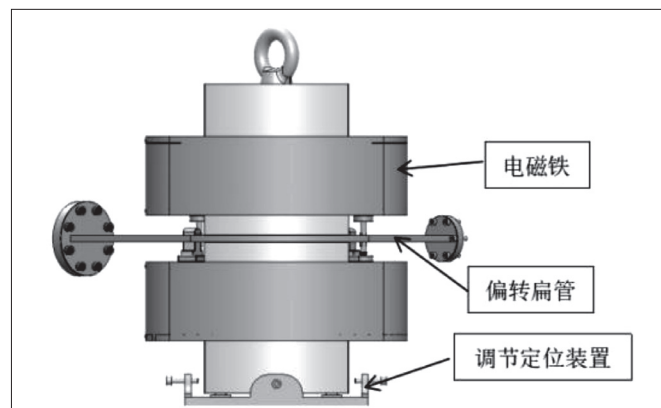


图1 质量分析器示意图

调节定位装置为电磁铁提供调节及定位功能,安装在电磁铁底部。常用质谱计电磁铁的质量在 200 ~ 600kg 之间,质量较大;在调试时需要在水平面上精准、灵活移动;位置调整定位后,需要锁紧,保持长期位置固定。

目前,主流商用磁式质谱计使用的电磁铁调节定位装置,按结构方式可以分为层叠式、轨道式和托盘式等,这些结构各有优缺点,无法满足公司的仪器需求。

因此,为提高仪器性能,研究人员设计了一种可适用于公司多类质谱计需求的电磁铁精准微调定位装置。该装置结构紧凑,运动灵活度适当,易于调节,安装方便,调节精度高,锁定稳固。

1 设计思路

结合公司仪器的特点,对各功能组件进行针对性的优

化设计,装置由磁铁托盘、联动导轨、丝杠调节机构和锁定机构等组件构成(图2)。

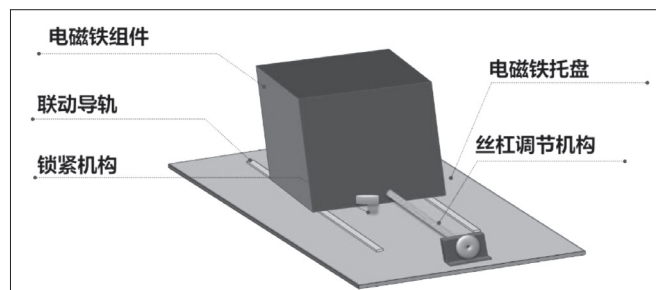


图2 调节锁定装置示意图

磁铁托盘是该装置的主体,采用螺钉直接紧固的方式,将其安装在主机台板表面。联动导轨采用双轨设计,承载电磁铁,为其提供运动功能;要求滑动导轨在调节状态时运动灵活且定位准确;在锁定状态下稳固可靠。通过摩擦力和承重能力计算,选择合适直径的轴承滚针。

丝杠调节机构的主要功能是对电磁铁纵向位置进行微调,使电磁铁的前后步进微量小于 0.2mm。此外,还设计了锁定机构来锁定电磁铁空间位置,其设计重点是确保电磁铁在锁定状态下能够长期稳固。

2 组件设计

2.1 联动导轨的设计

质谱计电磁铁调节径向轨迹与出入射磁场夹角平分线平行,其运动方向主要为前后移动,因此设计采用平面轴承的支撑方式,增加灵活度。该设计主要包括滚针、限位导轨和导向槽。

2.1.1 承重计算

平面轴承一般使用平面推力轴承滚针。根据 GB/T 4662-2012《滚动轴承额定静载荷》关于滚针静安全系数 S_0 的要求, $S_0 = C_{0a}/P_{0a} > 1.5$, 即静荷载 C_{0a} 需大于已知载体

重量 G 的 1.5 倍。G900 型电磁铁质量最大, 为 600kg, 因此静荷载 C_{0a} 需大于 9000N。

根据静载荷计算公式计算并确定滚针直径、长度和个数。公式如下:

$$C_{0a} = 220 \left(1 - \frac{D_{we} \cos \alpha}{D_{pw}} \right) Z L_{we} \sin \alpha \quad (1)$$

式中: D_{we} —滚针直径, mm; D_{pw} —滚针组直径, mm; Z —滚针个数; L_{we} —滚针有效长度, mm; α —公称接触角。

由于设计采用的滚针组是直线运动, D_{pw} 为无限大, α 为 90° , 计算得到 $Z L_{we} = 40$ 。

2.1.2 摩擦力计算

限位导轨被滚针推动向前移动, 需要克服自身重力 $G_{导}$ 与托盘之间的滑动摩擦力 $F_{滑} = \mu_{滑} G_{导}$; 电磁铁与滚针之间形成滚动摩擦力, 计算公式为 $F_{滚} = \mu_{滚} G_{铁}$, 则施加的推力 $F_{推} > F_{滚} + F_{滑}$ 时可移动。

根据上述计算原理, 以 G900 电磁铁为例进行设计, 选择限位导轨材料为铝材, 则 $\mu_{滚} = 0.003$, $\mu_{滑} = 0.17$; $G_{铁} = 600\text{kg}$, $G_{导} = 1\text{kg}$; 根据公式计算得到 $F_{滑} = \mu_{滑} G_{导} = 1.7\text{N}$; $F_{滚} = 18\text{N}$ 。因此, $F_{推} > 19.7\text{N}$ 时, 电磁铁可以灵活运动。

根据滚动力矩计算公式 $Fr = \mu mg$ 可知, 滚动力矩与滚针半径 r 成反比, 因此可采用滚针最小半径 $r_{min} = 1\text{mm}$; 但过大的滚针半径不利于电磁铁的锁定, 最终确定滚针型号为 $3 \times 12\text{mm}$ 。

当限位导轨到达运动极限位置之后, 滚针与各接触面均为滑动摩擦, 即

$$F = F_{铁} + F_{铝}; F_{铁} = \mu_{滑} m_{铁} g; F_{铝} = \mu_{滑} F_{铁} \quad (2)$$

通过公式计算得出:

$$F_{铁} = 1020\text{N}; F_{铝} = 173.4\text{N};$$

$$F = F_{铁} + F_{铝} = 1193.4\text{N},$$

F 远大于 $F_{推}$, 电磁铁停止运动, 起到了防撞保护的作用。

2.1.3 限位导轨尺寸设计

限位导轨根据滚针的尺寸和装配要求进行结构设计, 软件模拟设计高度

$$H_{导} = 2/3 D_{针} \quad (3)$$

滚针在限位槽内的径向游隙为 1mm, 轴向游隙 2mm, 根据尺寸等距装配。为保证导轨结构稳定性, 导轨侧壁宽度最少要达到 5mm, 因此宽度 $W_{导} = L_{针} + 2 \times 2 \times 5$; 导轨长度需要满足电磁铁组件位置调整的位移量要求, 因此限位导轨长度应根据轭铁长度 $L_{轭}$ 与导轨位移量 X 来计算:

$$L_{导} = L_{轭} + X \quad (4)$$

采用该设计, 滚针总长度将远大

于 40mm, 故也满足承重要求。

2.2 托盘的设计

托盘设计采用尺寸最小化原则来避免装配干涉, 利用模拟软件仿真验证, 限位导轨总位移为 X 的情况下, 应满足以下尺寸要求

$$L_{底} = L_{导} + X + 90 \quad (5)$$

$$W_{底} = W_{轭} + 2W_{侧}$$

式中: 90—导向槽两端壁厚之和; 40—理论位置与实际位置偏差调节位移量 (在工件加工及装配过程中都存在误差, 多项误差耦合后会导致电磁铁的理论位置与仪器性能需求的实际位置有所偏差)。

侧挡板的设计为该装置提供侧向微调 and 最后锁定功能, 设计长度与轭铁长度相同, 充分满足定位尺寸的需求。宽度 $W_{侧} = 15\text{mm}$ 就可满足结构稳定性要求, 高度需要考虑安装时与线包的干涉, 具体尺寸设计公式如下:

$$L_{侧} = L_{轭}; H_{侧} = 1/2 H_{轭}; W_{侧} = 15\text{mm} \quad (6)$$

设计托盘上导向槽的深度与导轨高度相同, 长度为导轨长度与导轨移动距离之和, 双边配合间隙均设计为 1mm。具体设计尺寸如下:

$$H_{限} = H_{导}; L_{限} = L_{导} + X; W_{限} = W_{导} + 2 \quad (7)$$

托盘材料的选择要考虑承重问题, 抗变形能力, 还要规避对电磁铁磁场的影响。因此在材料选择方面在充分考虑材料的硬度、强度、耐磨性和无磁性要求后选择了 304 不锈钢。

按照以上设计思路和尺寸关系公式对 G900 托盘进行设计 (图 3)。

2.3 丝杠调节机构的设计

丝杠传动具有轴向刚度高、运动平稳、传动效率高和

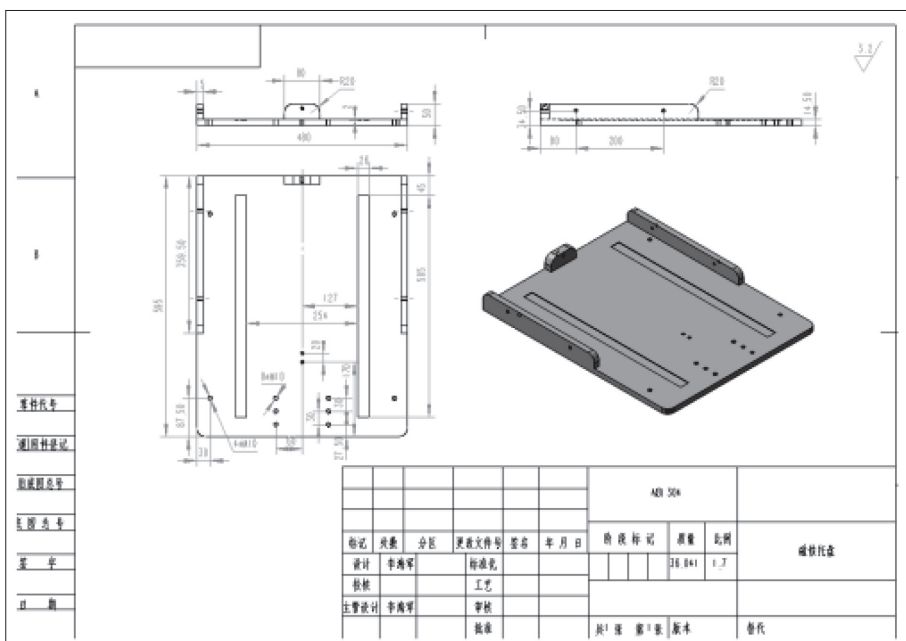


图 3 托盘国标工程图

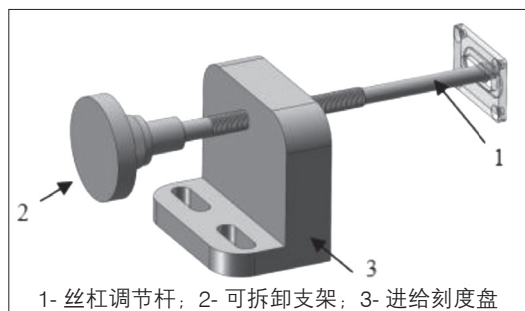


图 4 丝杠调节机构示意图

具有自锁功能等特点。当丝杠作为主体时,作为被动件的电磁铁就会随丝杠的转动角度按照对应规格的导程化作直线运动。丝杠调节机构主要包括丝杠调节杆、可拆卸支架和进给量刻度盘(图4)。

进给量刻度盘精准控制丝杠调节杆的转动角度。设计刻度盘可控步距角为 30° , 理论可控最小步距

$$L_{\text{步}} = P \times 30 / 360 = P \times 1 / 12 \quad (8)$$

采用单线螺纹时 $P=t$, P 为导程, t 为螺距。

利用软件模拟,使用公称直径 D 为 16mm 最合适,根据国标对照表,选用单线螺纹粗牙, t 为 2mm。根据公式计算可得出最小调整步距 $L_{\text{步}} \approx 0.167\text{mm}$ 。

支架用来确定丝杠位置并限制其自由度,按照装配尺寸要求,支架的装配位置对电磁铁组件的预装有一定的影响,因此设计为可拆卸的螺栓连接方式,当电磁铁组件被吊装到位后再安装支架。

2.4 锁紧机构

设计在侧挡板上安装带自锁功能的对顶螺栓进行横向锁紧,并设计专用偏心锁紧螺母对电磁铁进行纵向锁紧。

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,整体三维效果图见图 5。

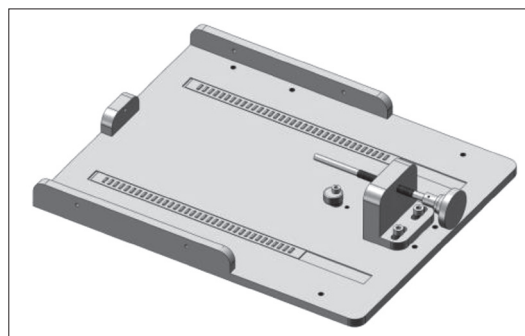


图 5 整体三维效果图

3 试验

完成各组件的设计后,进行机械加工,并与 G900 型电磁铁进行相关试验,图 6 所示为电磁铁预装位置俯视图。

(1) 根据设计装配图对零件进行组装,并测量配合精

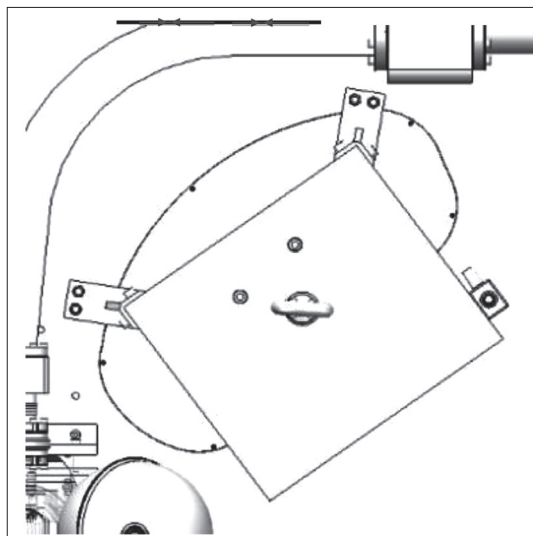


图 6 电磁铁预装位置俯视图

度,测量得出装配公差均在设计公差范围内。

(2) 装配完成后,利用龙门吊对 G900 电磁铁进行吊装,检测吊装路径的干涉情况,试验过程中,电磁铁吊装高度超过台面 20mm 即可不产生干涉,电磁铁与冷阱和 B 柱之间都有足够间隙,没有发生零部件干涉情况,预装完成后,测量分析管与上下极靴的间隙量基本相同。

(3) 使用丝杠调节杆对电磁铁进行微动精调,利用位置传感器对调节精度进行测量,记录旋转不同的圈数电磁铁的位移量,根据记录数据显示,调节精度为 0.17mm,满足设计要求。

(4) 磁极边缘区域的磁场强度分布曲线如图 7 所示,磁极间隙在 $0 \sim 1\text{mm}$ 之间时,磁场强度变较大。利用霍尔探头对其中 X 点位置的磁场强度进行多次测量,记录磁场强度的波动如图 8 所示。磁流部件的正常波动为 0.1 高斯以内,根据图表可知 X 点处的磁场强度变化在仪器的合理波动范围之内。结果表明:锁定装置性能可靠,达到了设计要求。

4 结语

质谱计峰形系数达到了设计要求,电磁铁调节的精确稳定性得到了提升,且固定牢固。该设计结构简单,加工成本也得到了有效降低。在保持了调节灵活精准和承重能力强等优点的同时,克服了装配误差大、锁定能力差及调节自由度差等缺点。根据公司研发产品的结构需求,总结出了相关设计尺寸关系公式,实现了调节定位装置的模块化设计,使该设计在以后各平台中都可以得到很好的应用。

参考文献:

[1] 王桂友,臧斌,顾昭. 质谱仪技术发展与应用 [J]. 现

(下转第 11 页)

```
N88 G00 X59.000 ;
N90 G01 X51.000 F0.300 ;
N92 G00 X75.200 ;
N94 G00 Z-29.500 ;
N96 G00 X59.000 ;
N98 G01 X51.000 F0.300 ;
N100 G01 Z-30.500 ;
N102 G00 X59.200 ;
N104 G00 X75.600 ;
N106 G00 X93.820 ;
N108 G00 Z-19.389 ;
N110 M09 ;
N112 M30 ;
```

4 结语

短轴槽类零件的程序编辑中，在内孔车削、螺纹车削等简单工序中，软件编程相比手工编程没有什么优势，但是编辑外形有多个深浅的槽加工轮廓复杂时，软件（CAXA 数控车）编程更快捷、方便、错误率低。多槽轮廓运动轨迹点位比较多，手工编程极易出错。在加工工艺设计中，首先要读懂图纸，了解重要技术要求，努力做到设计基准与加工基准相重合。根据经验选择合适的机床，根据零件形状和材料制定出工艺路线、各种切削参数。挑选正确的刀具，最终完成设计加工。

随着 CAD、CAM 软件技术的发展，软件功能越来越强大，但在工艺设计方案、切削参数使用等方面还需要人们在实际工作中慢慢地学习和积累。经过用心设计、

认真分析步骤和实践操作后，对加工工艺设计有新的认知。能加工出优质零件的前提一定是好的加工工艺方案，而好的加工工艺需要人们持续地学习创新并改进。

参考文献：

[1] 范德良. 公差技术测量 [M]. 沈阳：辽宁科学技术出版社，1983.

[2] 薛彦成. 公差配合与技术测量（第二版）[M]. 北京：机械工业出版社，1999.

[3] 李澄. 机械制图 [M]. 北京：高等教育出版社，2003.

[4] 袁锋. 数控车床培训教程 [M]. 北京：机械工业出版社，2003.

[5] 李华. 机械制造技术（第二版）[M]. 北京：高等教育出版社，2005.

[6] 余英良. 数控加工与操作 [M]. 北京：高等教育出版社，2005.

[7] 詹西华. 数控加工与编程（第二版）[M]. 西安：西安电子科技大学出版社，2004.

[8] 黄瀚滢. 非单调轴类零件的数控加工工艺分析 [J]. 山东工业技术，2017(06):57.

作者简介：费勇（1973-），男，汉族，江苏涟水人，本科，高级技师，研究方向：数控机床加工。

（上接第 7 页）

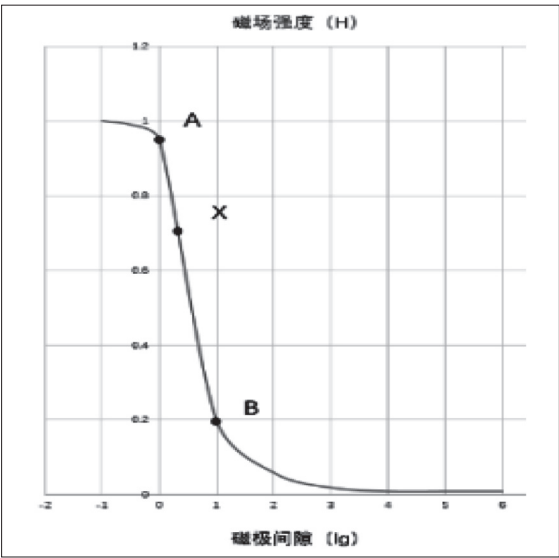


图 7 磁场强度分布曲线

代科学仪器，2009(06):124-128.

[2] 马德华. 滚动轴承的优化设计 [J]. 河南科技，2010(14):140.

[3] GB/T 4662—2012/ISO 76:2006, 滚动轴承：额定静载

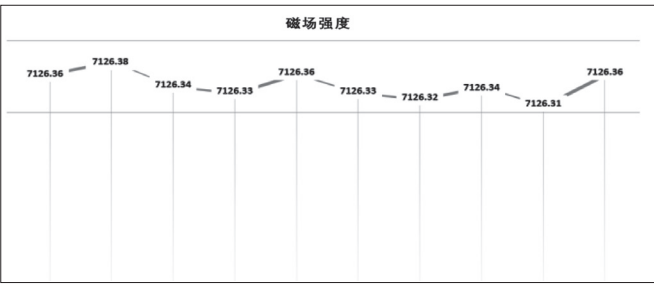


图 8 X 点磁场强度波动

荷 [S].

[4] 杨晓蔚. 滚动轴承的减摩设计 [J]. 轴承，2013(11):55-58.

[5] 夏田. 数控加工中心设计 [M]. 北京：化学工业出版社，2006.

[6] 张晋西. SolidWorks 及 COSMOSMotion 机械仿真设计 [M]. 北京：清华大学出版社，2007.

[7] 季欧. 质谱分析方法 [M]. 北京：原子能出版社，1978.

作者简介：杨少华（1989-），男，山东菏泽人，专科，研究方向：磁式质谱仪研发。