

数控机床 EMC 控制

EMC Control of NC Machine Tool

中航工业北京航空制造工程研究所航空专用装备工程中心 石敏



石敏

高级工程师,现从事数控机床及航空专用装备的设计与调试工作,主管实施了多个重大专项和科研课题的研究工作。

目前的高档数控机床设备功能强大、控制信号数量庞杂,加工过程中控制信号的准确性成为决定整个设备加工质量的关键因素,而电磁干扰(包括工频电磁场和谐波的干扰)对数控设备控制信号的影响显得尤为突出,从而使 EMC(Electromagnetic Compatible)电磁兼容问题在如今高档数控机床的电气设计和安装过程中变得愈加重要。数控机床的控制系統主要由 PLC、数控系統、变频器及仪表等组成,如果在系統设计和安装时,没有充分考虑 EMC 电磁兼容

在设备的设计制造和用户使用过程中,EMC 已成为电气系统设计时必须重视的问题。规范数控设备电气控制中 EMC 控制体系的设计,坚持 EMC 电磁兼容性设计,提高贯彻 EMC 标准的意识性,把它变成一个可控的设计技术,这样不仅降低了设备运行的生产成本,还大大提高了数控设备的整体控制精度和加工制造质量。EMC 技术不仅可以广泛地应用于数控设备的设计制造过程中,对其他电子控制领域也有借鉴作用。

问题,控制信号的干扰、失真或混乱现象会导致机床控制过程中精度降低、采集数据不准确甚至机床误动作,严重影响到数控设备的加工精度、生产效率和操作安全性。这些干扰将造成设备不能够稳定运行,甚至造成设备的损坏。因此,在设备的设计制造和用户使用过程中,EMC 已成为电气系统设计时必须重视的问题。规范数控设备电气控制中 EMC 控制体系的设计,坚持 EMC 电磁兼容性设计,提高贯彻 EMC 标准的意识性,把它变成一个可控的设计技术,这样不仅降低了设备运行的生产成本,还大大提高了数控设备的整体控制精度和加工制造质量。EMC 技术不仅可以广泛地应用于数控设备的设计制造过程中,对其他电子控制领域也有借鉴作用。

数控机床的 EMC 电磁兼容

1 电磁干扰信号的耦合

数控设备控制柜内部有大量的电磁干扰信号的耦合,耦合是干扰系统工作的原因之一。按其耦合方式可分为电路性(直接传导、共阻抗)耦合、电容性(电路间电场)耦合和电感性(电路间磁场)耦合。通过电磁辐射途径产生的干扰称为辐射耦合,干扰能量以电磁波形式通过媒质传输到敏感设备产生电磁干扰。辐射耦合大多通过天线(常规天线和信号线、控制线、输入输出引线等等效天线)、电缆线(信号线、供电线、地线)、机壳等接收或感应进入敏感设备产生电磁干扰。

这种耦合可以分为同一电路间的耦合、板间耦合、信号间的耦合、电

源线与系统的耦合。从性质上看,这种耦合是电场耦合或磁场耦合。当信号电路与电源线并行时,会引入某种电流,有可能导致一个继电器或者交流接触器触点吸合误动作,引起控制混乱。由此必须进行干扰抑制。

当两个或多个相互独立的电路公用电源线、返回线,或者两者都公用,一个电路在电源线中产生的压降有可能影响另外一个电路。补救措施为,可以在电源线和返回线上使用隔离电路,电源线使用双绞线来减小耦合,如果多条电源线公用一根公共返回线,返回线应该包在电源线周围。尖峰电压 U_1 (例如开关一个电容器时) 发生在一根线上时导致一个电流 i_2 出现在另外一根线上(图1)。

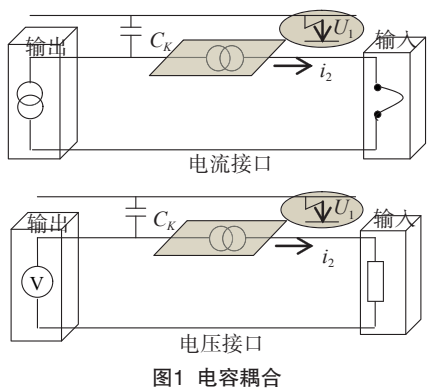


图1 电容耦合

由于 i_2 是直接叠加在正常信号上的,在这种情况下,使用电压接口代替电流接口会好一些。当信号电路与电源线并行时,会引入 50Hz 的电流。这有可能导致一个继电器或者交流接触器一直吸合。

如图2所示,当存在并行布线的结构(例如 PEN 或者 PE 电缆回路),此时 PEN 电缆回路就形成了变压器的次级绕组,初级线圈中的电流变化,使次级线圈中产生电压,由于多次接地形成了电流回路,从而产生结

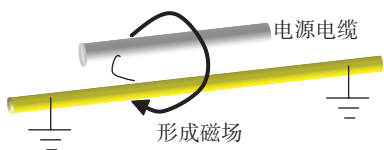


图2 并行布线结构

构电流。为了避免这一影响,应该使用屏蔽电缆。

2 非线性负载的影响

非线性负载会在电源系统中产生非正弦的电流,电流通过电源系统的阻抗使电压失真。脉冲控制系统中的脉冲信号通常也会导致短暂的电压失真。当负载容量被额外的谐波电流占据一部分时,会导致过热,脉冲控制系统中的信号会受到影响。

当把多个不同的谐波分量叠加在一起时,谐波电压会减小。傅立叶分析表明,由于非线性负载,谐波会产生不同的相位偏移,结果会使谐波消失或减小。低次谐波分量有线性增加的趋势,而高次谐波分量则以平方趋势增长,EMC 会越来越严重。

受到 EMC 影响的电源系统会在电机上产生额外的磁场,从而造成损耗、过热、降低寿命、颤动、交流噪声、效率降低等现象,会造成接地漏电流检测系统和隔离传感器的故障并且无法使用。电缆上会有更高的电流负载(尤其是 PEN 线),接线端子会过热,双端接地的屏蔽层会过载,通过电缆中的耦合电阻会有长线压降,导致信号错误。

3 天线效应

任一载流导体周围都产生感应电磁场并向外辐射一定强度的电磁波,相当于一发射天线,处于电磁场中的任一导体则相当一段接收天线,会感生一定电势,导体的这种天线效应是导致电子、电气设备相互产生电磁辐射干扰的根本原因^[1]。

经计算离开关设备的抗干扰距离需大于 15cm,一般距离大于 20cm。当同时给多台电动机上电时,由于较大的启动电流,会产生很强的磁场。

一个杆式天线,通常是在底端带有阻抗的线性物体。电控柜内的导体就像杆式天线在电控柜内不希望有天线效应,所有柜内的导体要尽可能地短。导体与地平行比有夹角

要好。所有金属部分都应可靠连接以避免天线效应,组件间要有较大的接触面积,而不要仅在拐角处连接,这样可以避免槽式天线效应。

4 伺服控制系统的干扰抑制以及本身的控制抗干扰

由于数控机床中使用的是数控及伺服驱动系统控制,机床的控制精度很高,所以机床电磁环境中变频器及伺服驱动系统的抗干扰以及它对其他器件的干扰是不容忽视的。

在设备应用现场,经常出现由于机床大功率切削时的干扰引起机床信号如主轴监控信号振动(动平衡)信号的突变,从而导致机床的误报警,甚至会出现其他机床切削时而导致另一机床主轴旋转的现象。

脉冲或脉冲串是由不同频率的正弦信号叠加而成的。来自变频器的干扰 $f_{max} < 20\text{MHz}$,而变频器的工作状态为一直开启,所以现场的主要干扰来自变频器。

5 电柜进线与开孔

由于趋肤效应,高频电流从屏蔽层的内侧返回,供电线应将电压加在最小的面积上,使电路面积最小化,减小辐射干扰。因此电缆需使用导电性好的金属网面的屏蔽电缆,这样面积加大,电流通顺畅。高频电流主要从供电线下方返回,从而在供电线和返回线之间形成一个小的电流回路。所有电缆入口都应安排在电控柜的一侧,以避免干扰电流流经电控柜,造成其磁场干扰内部电缆。

任何时候磁场随时间改变,就会在垂直磁场的方向上产生电位差,如果电位差遇到导电平面或者导体,就会产生涡流。如图3所示,按照伦兹定律,涡流会产生一个磁场,并且会因此而削弱原有的磁场,这种情况对于屏蔽十分有利。但开孔会改变电流方向,涡流会绕开开孔,磁场的形成方向会发生错误,从而无法削弱原磁场。

根据电控柜或者外壳来确定

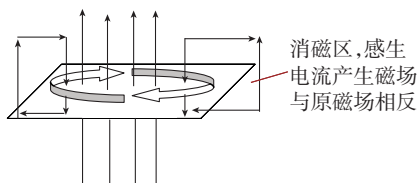


图3 感生电流的产生

限制频率 f_g , 定义最大开孔直径 $D_{\max} < 15/f_g$, 定义管长度 $L=5D_{\max}$, 如果开孔直径 D 不得不大于 D_{\max} , 则将开孔分成若干个小孔(蜂窝状分布), 消磁区得以正确的产生。

抗干扰措施

1 有效隔离、良好接地

由于雷电、工业现场其他机床的大功率马达启动、继电器动作、线路故障、静电等因素引发电涌, 可能导致系统功能故障、损毁等风险, 为减小这些干扰传导侵入, 机床的电气需要采取良好的隔离和接地措施。

在机床总体电柜前添加隔离变压器以及避雷器(浪涌保护器), 可有效抑制干扰。回路布线时, 应考虑隔离, 减少互感耦合, 避免干扰由互感耦合侵入。强、弱信号电缆之间进行隔离, 强、弱信号不应使用同一根电缆; 信号电缆应尽可能避开动力电缆; 尽量增大与动力电缆的距离, 并尽量减少其相互平行长度; 确保电气柜中的所有设备接地良好, 使用短和粗的接地线连接到公共接地点或接地母排上。特别重要的是, 连接到变频器的控制设备(如PLC)要与其共地, 同样也要使用短和粗的导线接地。最好采用扁平导体(例如金属网), 因其在高频时阻抗较低。

2 良好的屏蔽

为有效地抑制电磁波的辐射和传导, 最好使用屏蔽电缆来进行信号和动力传输。由变频器控制的电机电源电缆必须采用屏蔽电缆, 屏蔽层的电导必须至少为每相导线芯的电导的1/10。同时控制电缆最好使用屏蔽电缆。一般来说, 控制电缆的屏蔽层应直接在变频器的内部接

地, 另一侧通过一个高频小电容(例如3.3nF/3000V)接地, 也可以将屏蔽层的两端直接接地。信号线和它的返回线绞合在一起, 能减小感性耦合引起的干扰。绞合越靠近端子越好。模拟信号的传输线应使用双屏蔽的双绞线。不同的模拟信号线应该独立走线, 有各自的屏蔽层, 以减少线间的耦合。不要把不同的模拟信号置于同一个公共返回线。低压数字信号线最好使用双屏蔽的双绞线, 也可以使用单屏蔽的双绞线。在机床布线过程中将信号电缆与动力电缆分开布局, 这样可有效保证控制信号的准确度。当控制电缆和动力电缆不可避免交叉时, 应尽可能使之按90°角交叉。同时必须将电机电缆和控制电缆的屏蔽层固定到安装板上。

为防止静电放电问题, 可以通过增加屏蔽接地面积的方法, 电缆尽可能接近金属外壳或者金属表面, 尽量缩短电缆长度, 在没有必要的情况下, 不要使用长电缆。在条件允许的情况下可以将EMI(Electro Magnetic Interference, 电磁干扰)油漆喷涂在壳体的内侧。EMI油漆是导电的, 可以看成是一个金属的屏蔽层, 这样可以将静电导在壳体上, 再将壳体与地线连接, 将静电从地导走。这样处理的方法除了可以防止静电, 还能有效抑制EMI的干扰。

3 合理利用滤波器与电抗器

通断开关会产生一个4kV的瞬时高压, 其频率可达200MHz。由于存在大量的通断开关, 干扰信号大多数被线圈所抑制。瞬时高压由关断的线圈产生(如: 接触器、继电器、电磁阀等), 抑制干扰的电路无论加在干扰源侧还是在被保护元件侧, 都要遵守电短原则, 即电缆长度或机械尺寸小于波长的1/10。另外, 添加RC元件或二极管等效于增加关断时间, 增加关断时间的同时也会加剧大功率触点的损伤; 折中的办法是用压敏电阻。

开关频率的基频和谐波在1MHz以下差模为主, 1MHz以上共模为主。用滤波器可以降低共模和差模干扰电压。通过试验, 滤波器外壳联到金属板时, 20MHz衰减85dB; 没有联到金属板时, 衰减只有30dB。而当频率大于1MHz后, 用导线连接滤波器外壳没有任何抑制作用^[2]。

对于变频器需要使用进线电抗器。进线电抗器用于降低由变频器产生的谐波, 同时也可用于增加电源阻抗, 并帮助吸收附近设备投入工作时产生的浪涌电压和主电源的电压尖峰。进线电抗器串接在电源和变频器功率输入端之间。对于数控及驱动系统还应使用RFI滤波器, 则RFI滤波器应串接在进线电抗器和变频器之间。特别是, 当对主电源网络不熟悉的情况下, 最好使用进线电抗器。

4 确保电气柜中的接触器有灭弧功能

交流接触器采用R-C抑制器, 直流接触器采用“飞轮”二极管, 装入绕组中。压敏电阻抑制器也是很有效的。

结束语

由于在数控机床的电气设计中采用了上述电磁干扰抑制措施, 经实际使用, 证明这些措施切实可行, 所设计的数控机床电磁兼容性能稳定、可靠。

数控机床所处工业现场较复杂, 它的干扰来源于多方面多渠道, 在数控机床的电气设计中针对不同干扰源对电磁干扰进行有效的抑制, 可以在很大程度上提高数控机床运行的安全性、稳定性、可靠性, 确保数控机床安全而高效地运行。

参考文献

- [1] 高纹纲. 电磁兼容总论. 北京: 北京邮电大学出版社, 2001.
- [2] 赵仕元, 张斌. 数数控系统的电磁兼容设计. 装备制造技术, 2008(1): 48-49.

(责编 晓立)