

# 人造大理石床身在电解加工设备中的应用

## Application of Artificial Marble Lathe Bed in Electrochemical Machining Equipment

中航工业北京航空制造工程研究所 范钰伟 李初晔 王颖

**[摘要]** 介绍了电解加工设备中人造大理石床身的材料特性及结构设计,并与铸铁床身进行了比较。通过有限元法对人造大理石床身和铸铁床身进行分析,包括模态分析、谐响应分析、对数衰减率计算以及瞬态响应分析。实践和理论分析结果均表明,人造大理石是作为电解加工设备床身基座的优良材料。

**关键词:** 人造大理石床身 电解加工 有限元分析

**[ABSTRACT]** This article is aimed to introduce material properties and structural design of the artificial marble lathe bed in electrochemical machining equipment, and compare with the iron lathe bed. The properties of artificial marble lathe bed and iron lathe bed are comparatively analyzed by finite element method, including modal analysis, harmonic response analysis, calculation of the logarithmic decrement rate and transient analysis. The results of practical and theoretical analysis show that the artificial marble is a fine material for working the electrochemical machining equipment lathe bed.

**Keywords:** Artificial marble lathe bed Electrochemical machining Finite element analysis

电解加工是一种电化学加工方法,是继电火花加工之后发展较快、应用较广的一种特殊加工技术,广泛应用于兵器、航空航天等制造领域的难切削材料及复杂结构的加工。电解加工设备由于其特殊的工作条件和恶劣的工作环境,与一般的切削机床及电火花机床相比,其稳定性、可靠性的影响因素较多。国内以前生产的电解机床故障率一般比较高,停机率在50%左右,而国外的停机率在10%以下<sup>[1]</sup>。一般电解加工设备床身大多采用焊接结构件或铸件,但是电解设备电解液具有较强的腐蚀性、电极导电性,因此金属床身腐蚀明显,严重影响设备的精度、寿命及美观。为提高设备质量,必须合理选择床身材料并布置床身结构。

## 1 人造大理石特点

人造大理石由尺寸不同的天然大理石粉末、填充物、环氧树脂、固化剂等材料组成。将各种组成材料按

一定的比例配制,通过搅拌机搅拌均匀后倒入模具,再通过振床振动将配料中的气孔消除,自然凝固后即可获得致密的人造大理石材料<sup>[2]</sup>。

灰铸铁(如HT200)因其流动性好、体收缩和线收缩小、综合力学性能良好、抗压强度比抗拉强度高3~4倍,吸振性良好等优良性能<sup>[3]</sup>,是优良的设备床身材料。但是电解加工设备具有一定的特殊性,由于电解液的腐蚀、电场杂散腐蚀以及由微电池作用造成的电化学腐蚀,使得电解加工设备不能使用灰铸铁作为设备的床身。

人造大理石材料与铸铁材料特性对比如表1所示,人造大理石是有效的绝缘体,绝热性能良好,具有较强的耐腐蚀性,易于保证加工精度,结构可设计性优于铸铁材料,减振效果、热稳定性比铸铁明显提高,阻尼特性更是铸铁材料的十几倍<sup>[4]</sup>。因此,将人造大理石床身作为电解加工设备的床身,经过合理的结构布局,能大大提高电解加工设备的耐腐蚀性,减少热变形,降低设备的振动,从而提高电解加工设备的有效使用寿命、可靠性和精度。

人造大理石铸件浇铸的方式是常温浇铸,浇铸时各种化学原料之间将会产生放热反应,但最高温度一般不会超过45℃,常温浇铸有以下两个优点。

(1)高度的设计包容性:可以在矿物铸件中铸入走线用PVC管、空/液压管、冷却液管等使机床的结构变得紧凑、成本降低,而且在人造大理石铸件中铸入管道、箱体等不但可以降低铸件重量,还可以增加人造大理石铸件的刚性。

(2)铸件凝固以后,内部应力小,收缩性极小,内部收缩率约为0.03%。

## 2 人造大理石床身的设计

在设计人造大理石床身时应该避免过薄的壁厚、影响脱模的倒锥、较高的拉应力、冲击载荷、离边太近的孔等。人造大理石的壁厚取决于两个因素:一是材料本身的性能,根据填料的颗粒状况来决定壁厚;二是根据刚性要求设计壁厚。针对某型号电解加工设备的工作状况及输入要求,结合人造大理石铸造的工艺要求,对人造大理石床身的结构设计如下。

表1 材料特性对比

性能参数	人造大理石	铸铁
对数衰减率	0.035	0.002
粘结整合性能	可方便地铸入导轨、带螺纹的插件、联接件、传感器、执行器等	无
线性收缩率/%	0.005~0.01	0.1~0.4
环保性能	比铸铁节省 30% 的能源,能很方便地回收建筑和筑路用原料	铸造过程污染严重
脱模精度 / (mm·m <sup>-1</sup> )	0.1~0.3	1~3
耐腐蚀性	对油、冷却液及其他腐蚀性液体有很好的抗腐蚀性能	耐腐蚀性能差
密度 / (g·mm <sup>-3</sup> )	2.3~2.4	7.3
绝缘性能	绝缘体	导体
抗压强度 /MPa	130~160	580~950
弹性模量 /GPa	30~45	78~110
导热系数 / (W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )	1.5~2.0	50

(1) 根据设备中各零部件之间的连接要求,设计大理石床身上的预埋钢件。采用内嵌技术可在人造大理石床身内部方便地嵌入导轨、带螺纹的插件、联接件、传感器、执行器等。因为人造大理石床身铸造完成后只能采用磨削加工,预埋钢件的设计必须在铸造前完成,需根据预埋钢件所要承受力的方向及大小设计不同的预埋结构,如带螺纹插件的结构(如图1所示)。预埋钢件均采用不锈钢,材料为00Cr18Ni9Ti。为保证人造大理石加工表面的精度,预埋钢件要低于人造大理石加工表面0.2mm。预埋时应注意条状钢材不宜过多过大,还应充分考虑连接件的强度,可在大理石床身上预埋键槽钢板,增强关键部件的强度与刚度。



图1 带螺纹插件的结构  
Fig.1 Structure of threaded metal insert

(2) 根据电解加工设备中整体防护的要求,电机、减速机等耐腐蚀性较低的功能部件应安装在大理石床身内部;同时,转台电缆走线及电解液的排放都需要在床身上预埋PVC管道,转台电缆走线管设计成变截面

结构,既满足了电机、减速机等功能部件的安装要求,又防止底面壁厚过薄而影响床身的整体强度,图2为人造大理石床身结构图。

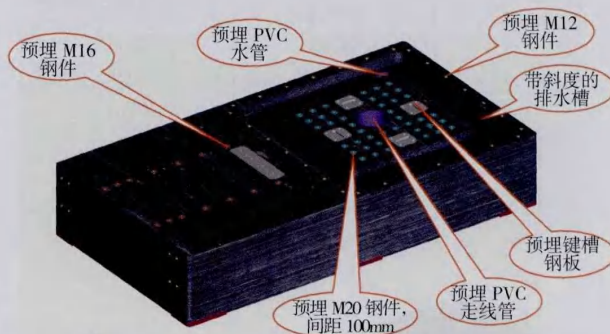


图2 人造大理石床身结构  
Fig.2 Structure of artificial marble lathe bed

### 3 人造大理石床身有限元分析

有限元分析(Finite Elements Analysis, FEA)是当今工程领域最通用的CAE分析方法,是大型复杂结构和多自由度系统的有力分析工具,广泛应用于机械工程、电子、航空航天、汽车制造等领域,是虚拟制造过程中最重要的仿真工具。一般来说,只要建立的几何模型及施加的边界条件准确,有限元计算结果可以与设备的实际工作状态符合地很好,这种由计算机仿真直接设计出的产品既能节省设计经费,缩短设计周期,又能保证产品的设计质量,在新产品的设计创新过程中发挥了重要作用。

人造大理石床身有限元模型的无阻尼自由振动方程可写为:

$$M\ddot{X}+KX=0$$

式中,  $M$  为人工大理石床身有限元模型的总体质量矩阵;  $K$  为人工大理石床身有限元模型的总体刚度矩阵;  $X$  为人工大理石床身振动的位移向量。

### 3.1 模态分析

用模态分析可以确定一个机构的固有频率和振型, 固有频率和振型是承受动载荷结构设计中的重要参数。结构动态性能优化设计应使设备的低阶固有频率(一般考虑到前 3 阶)避开主要的激振力频率范围, 从而达到提高系统动刚度的目的。激振力包括电机旋转惯性力、驱动联接之间的啮合力、轴承与支撑之间的冲击力、加工中的瞬态冲击力等。表 2 是人工大理石与铸铁床身的前 10 阶固有频率值列表, 图 3 是人工大理石床身前 4 阶频率振型, 最低频率为 531Hz。本系统采用的伺服

表2 人工大理石与铸铁床身的前10阶固有频率 Hz

频率阶数	人工大理石床身 频率值	铸铁床身 频率值
1	531.54	505.41
2	531.60	524.49
3	555.79	528.47
4	586.97	558.12
5	642.78	611.18
6	765.63	728.00
7	815.00	774.94
8	853.06	811.13
9	860.39	818.10
10	881.44	838.11

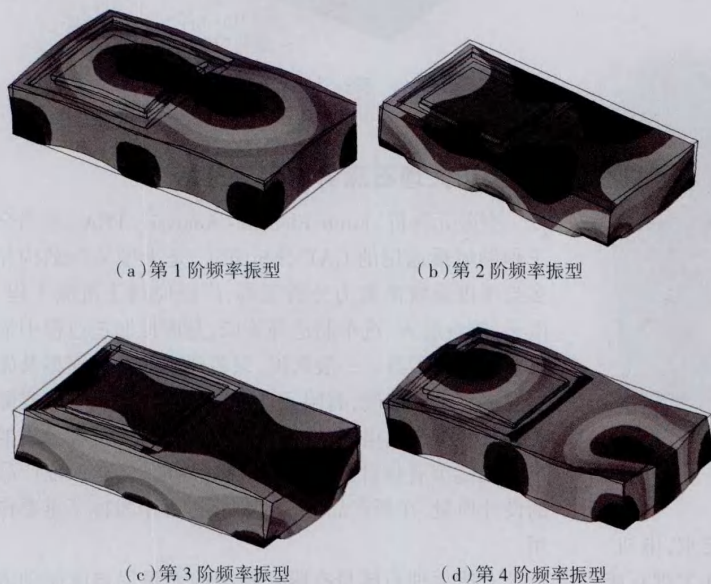


图3 人工大理石床身前4阶频率振型

Fig.3 First four mode shapes of artificial marble lathe bed

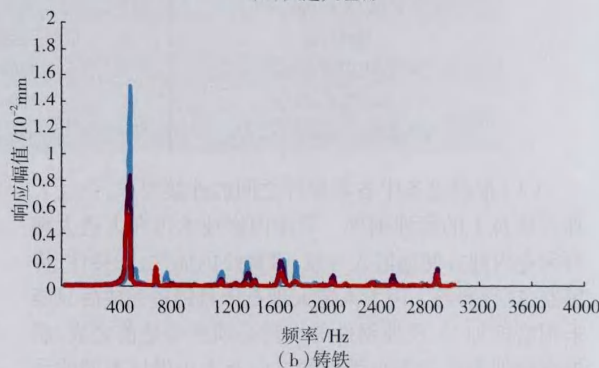
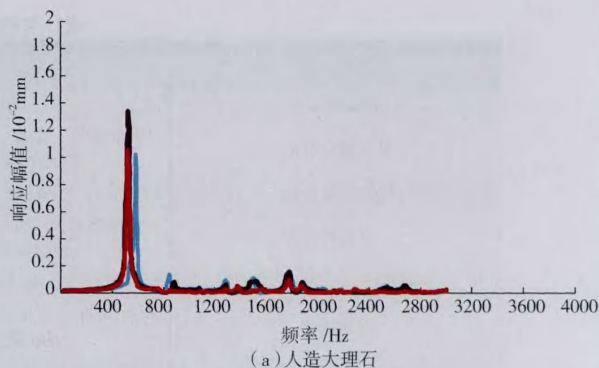


图4 人工大理石和铸铁床身的频响曲线

Fig.4 Frequency response curves of artificial marble lathe bed and iron lathe bed

电机的额定转速  $n$  为 3000r/min, 轴回转产生的冲击力频率为 50Hz, 冲击力频率远低于系统的初阶固有频率, 频率比  $\lambda$  很小, 因此系统近似于静力系统, 冲击力产生的振动很小。

### 3.2 谐响应分析

谐响应分析就是给系统一个持续的周期载荷, 分析系统中产生的持续周期响应, 以及确定结构承受随时间周期变化的载荷时的稳态响应<sup>[5]</sup>。

根据转台自重及转台最大承重, 在转台与人工大理石床身连接面上施加的  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  3 个方向上的简谐力为 22000N, 其频率在 0~500Hz 之间变化。前文固有频率分析表明, 两种床身的初阶固有频率均在 500Hz 附近, 两种床身的频响曲线分别如图 4 所示。

由响应曲线可以看出两种材料床身在 500Hz 干扰力作用下均会发生较大振动, 其中, 人工大理石床身的响应幅值约为 0.014mm, 铸铁床身的响应幅值约为 0.016mm, 表明了人工大理石床身的抗振性

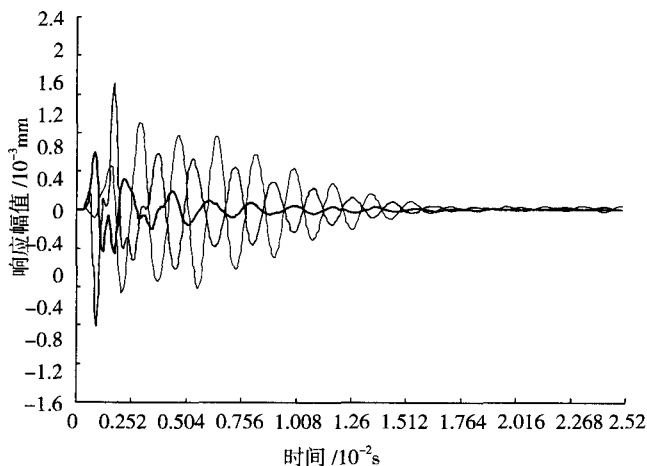
能略优于铸铁床身。

### 3.3 瞬态响应分析

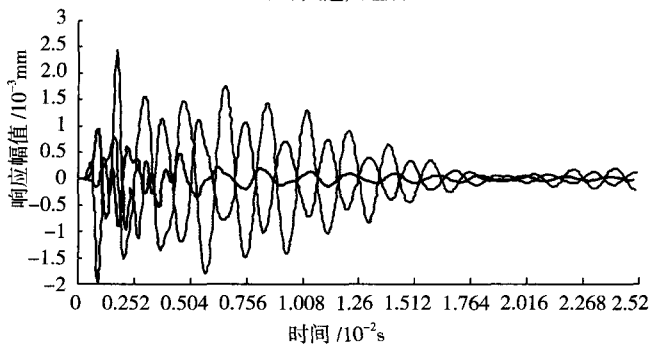
在工程上引起振动的除周期性激振力外,还有冲击、瞬变等非周期性激振力。冲击是指动能传递到一个系统上,其发生传递的时间比这个系统的固有周期要短;瞬变现象是指激振力持续的时间可达到该系统振动的几个周期那样长。

对数衰减率是评价轴系振动稳定性的一个重要指标,其定义为轴系受到某种干扰力的作用后振动幅值随时间的变化。若振动幅值随时间延长而增大,则振动是发散的,轴系振动不稳定,最终导致共振现象发生。若振动幅值随时间延长而减小,则振动是收敛的。在稳定性分析中,一般用对数衰减率作为系统的稳定性评定标准,即对数衰减率的数值越大,说明系统的稳定性越高。对数衰减率与材料阻尼比有相关性,且材料阻尼比越大,振动衰减越快,系统动态性能越好。

前文讨论了在简谐激励、周期激振力作用下系统的稳态响应。由于阻尼的作用,瞬态响应会随时间很快消失。在某些情况下,尽管系统所受激励的瞬态过程时间极短,但振动幅值却很大,会使机器内部某些零部件产



(a) 人造大理石



(b) 铸铁

图5 人造大理石和铸铁床身的位移时间响应曲线

Fig.5 Displacement-time response curves of artificial marble lathe bed and iron lathe bed

生短时过应力现象,有较大的破坏力。因此对这类瞬态振动的研究非常必要。下文分别对人造大理石和铸铁两种床身结构施加作用时间极其短暂的冲击力,两种结构的初阶频率均在 500Hz 左右,初阶固有周期为 0.002s,因此将冲击力作用时间定为 0.0004s。

图 5 为两种床身施加相同冲击力时的位移时间响应,其中人造大理石床身振动衰减地很快,而铸铁床身振幅衰减地相对慢一些。可见,人造大理石床身吸振性能优于铸铁床身。

## 4 结论

(1) 相较于铸铁床身,人造大理石床身不仅具有良好的抗腐蚀和电绝缘特性,而且具有较高的固有频率和阻尼比、很好的抗振和吸振性能。因此,人造大理石是作为电解加工设备床身基座的优良材料。

(2) 使用该人造大理石床身的电解加工设备精度等各项指标均达到设计要求,设备运转情况良好,实际使用效果明显优于铸铁床身电解加工设备。

## 参考文献

- [1] 边守忠. 我国电解加工机床发展近况. 航空工艺技术, 1997(2):46.
- [2] 袁来朝. 浅谈人造大理石床身的加工. 金属加工, 2008(9):39-40.
- [3] 宋志勇, 商益存, 赵金刚. 人造大理石床身在普通数控磨床中的应用. 精密制造与自动化, 2008(2):27-28.
- [4] 向飞. 矿铸件材料在装备制造业中的应用. 机电工程技术, 2011,40(7): 159-161.
- [5] 徐平, 牛艳奇, 于英华. 碳纤维聚合物混凝土机床床身动态性能仿真. 辽宁工程技术大学学报, 2003,22(1):104-106.

(责编 深蓝)

(上接第 86 页)

高了 HSPECM 电源的工作稳定性。在样机经过一定的生产使用考验定型后,就可以投入小批量制造,可生产用户加工中小、微型精密零件。

## 参考文献

- [1] 王建业, 罗天友, 莫桥彩, 等. 气门锻模高频窄脉冲电解加工的试验研究. 模具工业, 2000 (2):50-53.
- [2] 王建业, 徐家文. 电解加工原理及应用. 北京: 国防工业出版社, 2001.
- [3] 余艳青, 王建业, 韩冠军. MOSFET 高频窄脉冲电解加工工业化电源研制. 电加工与模具, 2005 (2):59-63.
- [4] 宋清亮, 晋兆国. 一种高精度功率 MOSFET 参数测试系统. 电力电子, 2010(6):46-49.
- [5] 袁炎成, 陈艳峰, 余艳青, 等. 提高高频, 窄脉冲电解加工电源短路保护系统的性能试验研究. 电加工与模具, 2007(2):20-24.
- [6] Semikron. IGBT Peak voltage measurement and snubber capacitor specification. Application Note AN-7006, 2008. (责编 深蓝)