

大型桥式机床立柱不同材料的特性分析

崔立洁, 关大力, 李中凯, 李初晔

(中航工业北京航空制造工程研究所, 北京 100024)

[摘要] 采用数值计算方法, 比较了混凝土、铸铁和钢 3 种不同材料立柱的静载抗压能力以及冲击力下的瞬态响应, 分析数据表明, 钢立柱具有最好的承压能力, 在相同压力下静变形最小; 由于阻尼的原因, 混凝土立柱的振幅受到明显限制, 冲击力作用下振动衰减的较快, 在更加关注减振性能的高速高性能加工领域, 采用混凝土立柱是更好的选择。

关键词: 阻尼; 瞬态振动; 桥式机床; 混凝土; 减振

Feature Analysis of the Different Materials for Large Bridge Type Machine Tool Column

CUI Lijie, GUAN Dali, LI Zhongkai, LI Chuye

(AVIC Beijing Aeronautical Manufacturing Technology Research Institute, Beijing 100024, China)

[ABSTRACT] Using numerical calculation method, and compares the static load compressive capacity and impact of the transient response for the three different materials, cast iron and steel concrete columns. Analysis data shows that the steel column has the best bearing capacity and minimum deformation under the same static pressure. Because of damping, the amplitude of concrete column is clearly limited, under the action of impact vibration attenuation faster, more attention in the vibration isolation performance of high-speed high-performance processing field, using the concrete column is a better choice.

Keywords: Damping; Transient vibration; Bridge type machine; Concrete; Vibration reduction

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2016.23/24.092

桥式五坐标高速数控龙门铣床是由中航工业北京航空制造工程研究所通过结构优化和各种试验, 采用多项先进技术研制的新一代航空加工设备。机床主轴转速和进给速度高, 切削质量好, 工作稳定可靠, 具有高刚性、高精度、高效率等特点, 特别适合航空航天工厂各种复杂型面零件的高速高效加工。该机床最主要的特点是立柱设计采用混凝土结构, 可提高机床的减振抗振性能, 并在一定条件下, 缩短制造周期, 降低材料费用。以一个立柱为例, 研究分别采用混凝土、铸铁和钢材料时机床的静态和动态性能的优劣, 为立柱材料的选择提供理论参考。

1 材料特性

学术上对混凝土内部阻尼的影响因素和阻尼产生机理有较多研究, 混凝土内黏弹性成分的种类、组分比、内部夹杂介质间的损伤裂缝、封砂形式等皆对结构内部阻尼有较大影响。参考一些研究资料的结果^[1-4], 对钢筋混凝土材料的多截面多角度试验表明, 其阻尼比定义在 0.015~0.020 之间是恰当的, 其阻尼特性甚至比

人造大理石材料要好。

铸铁因加工性好, 具有良好的吸振性等优点, 一直以来为机床设备主要结构件所采用, 特别是有防振要求的床身立柱等关键构件。随着经济的发展, 目前用户对机床产品的订货期越来越短, 钢材由于具有优良的焊接性能, 钢结构件具有加工制造方面的极大优势, 目前一些生产企业采用钢结构大件的也越来越多。

目前高架桥式高速铣床立柱大多采用混凝土材料制造, 表 1 是混凝土、铸铁、钢 3 种材料的一些性能参数, 混凝土的阻尼比较大, 钢的阻尼比最小, 从理论上来说, 混凝土材料由于具有较大的阻尼比, 因此混凝土立柱的

表1 混凝土、铸铁、钢材的力学性能参数

	钢筋混凝土	铸铁	钢
密度 / ($t \cdot m^{-3}$)	2.4	7.3	7.8
弹性模量 / MPa	33000	150000	210000
强度 / MPa	30	250	550
阻尼	0.017	0.007	0.003

减振吸振性能最佳,振动理论认为系统的振幅 B 与静位移 δ_{st} , 频率比 λ , 阻尼比 ζ 之间存在以下关系:

$$B = \frac{\delta_{st}}{\sqrt{(1-\lambda^2)^2 + 4\zeta^2\lambda^2}}$$

因此,在系统振动过程中,振幅随阻尼比的增大呈逐渐减小的趋势,阻尼越大,这种减小趋势越明显。

2 立柱的静变形

静力下的计算评价立柱的抗压能力,在各种材料立柱上表面分别施加 10t 的压力,计算立柱压力作用下的应力和变形。

图 1 为立柱的应力云图,3 种材料立柱在 10t 压力作用下的应力为 0.75MPa,甚至远远低于混凝土的抗压极限应力 30MPa,因此,3 种材料立柱在强度方面完全满足工程的应用要求。图 2~ 图 4 分别是混凝土、铸铁、钢 3 种立柱的变形图,混凝土立柱的压缩变形最大,为 0.02mm,约为铸铁立柱的 4 倍多。从静态变形方面考虑,钢立柱相对来说好一些。

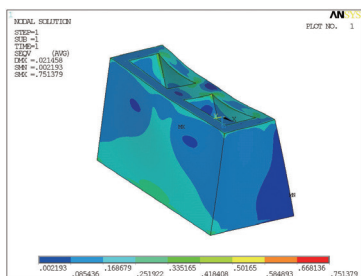


图1 立柱的应力
Fig.1 Stress of column

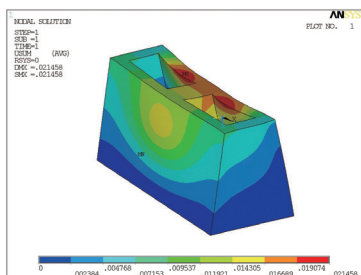


图2 混凝土立柱的变形
Fig.2 Deformation of concrete column

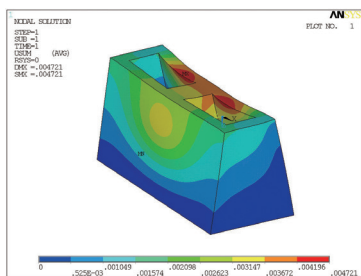


图3 铸铁立柱的变形
Fig.3 Deformation of the cast iron column

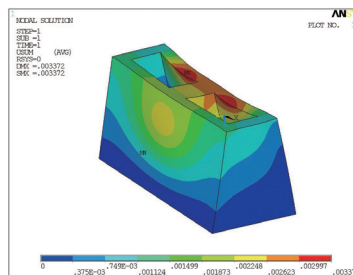


图4 钢立柱的变形
Fig.4 Deformation of steel column

3 立柱的模式

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、齿轮啮合力、轴承与支撑之间的冲击力、加工中的瞬态铣削力等。为比较混凝土、铸铁、钢 3 种材料立柱的固有特性,使计算数据具有说服力,采用相同的几何模型,分别采用 3 种材料建立有限元网格模型,有限元网格的划分采用相同的单元类型和尺寸密度,图 5 为立柱的有限元网格模型。立柱的约束为底面固定,有限元分析得到 3 种材料立柱的前三阶固有频率见表 2。图 6 为混凝土立柱初阶固有频率及振型,图 7 为混凝土立柱二阶固有频率及振型,其他两种材料立柱的振型方向与混凝土立柱相同,只是频率值有差别。以初阶频率为例,混凝土、铸铁、钢立柱的频率分别为 160Hz、193Hz、224Hz,数据表明钢立柱的刚质比最大,在相同静力作用下,钢立柱的变形最小,在不考虑阻尼的情况下,钢立柱当然是最佳的选择。

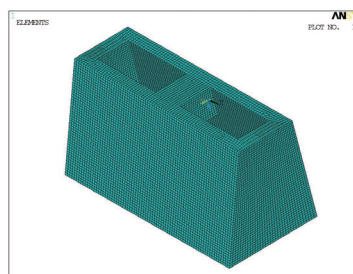


图5 立柱的有限元网格
Fig.5 Finite element mesh of column

表2 混凝土、铸铁、钢材料立柱的前三阶固有频率 Hz

立柱	一阶频率	二阶频率	三阶频率
混凝土立柱	160	295	322
铸铁立柱	193	361	393
钢立柱	224	412	450

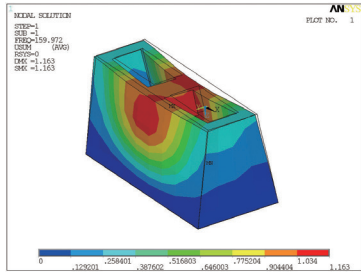


图6 混凝土立柱的一阶频率

Fig.6 The first frequency of concrete column

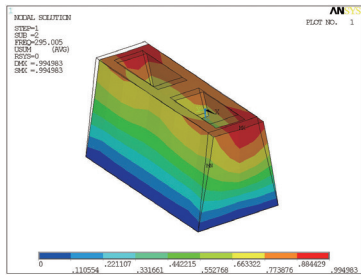


图7 混凝土立柱的二阶频率

Fig.7 The second frequency of concrete column

4 谐响应分析

谐响应分析是给受关注的系统一个持续性的周期载荷,分析系统中产生的响应,以确定不同频率的周期性载荷对结构的激振效果,为工作中制定减振避振措施提供理论指导。

根据机床的实际工作条件,沿立柱侧向的动态力最容易激起较大的机床振动,为此定义立柱受到幅值 f_0 ,变化频率为 ω 的谐和力作用。动态力幅值 f_0 定义在 $1t$,其频率在 $10\sim 1000$ Hz 范围变化。图8是混凝土立柱上表面某点的 $X/Y/Z$ 3个方向的频响曲线,当作用力频率接近立柱的第一阶固有频率(160Hz)时,立柱将发生较大振动。图9是3种材质立柱的 Y 向频率响应的对比数据,3种材质立柱在初阶固有频率附近皆将激发较大幅值的振动,但由于阻尼的原因,混凝土立柱的振幅

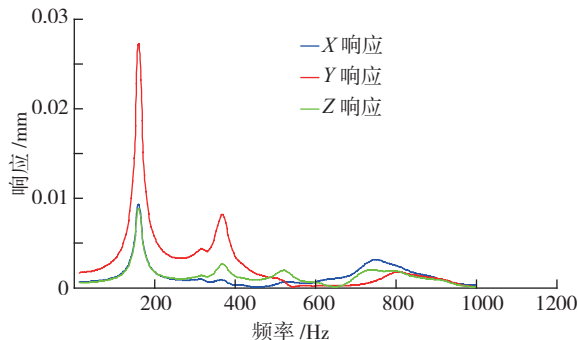


图8 混凝土立柱 $X/Y/Z$ 方向的频响曲线

Fig.8 Frequency response curve of concrete column at $X/Y/Z$ direction

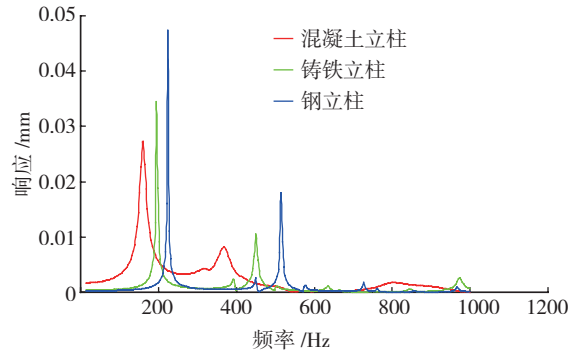


图9 混凝土/铸铁/钢立柱 Y 方向的频响对比

Fig.9 Frequency response of concrete/iron/steel columns at Y direction

受到明显限制。

5 立柱冲击力下的瞬态响应

在工程上,引起振动的除周期性激振力外,还有如冲击、瞬变等非周期性的激振力,其发生传递的时间比系统的固有周期要短。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十分必要。分别对混凝土、铸铁、钢3种材质立柱施加作用时间极短暂的冲击力,冲击力作用时间 $0.0002s$,持续 $0.1s$ 。

图10是3种材质立柱在相同冲击力时的位移-时间响应,混凝土材质立柱在冲击力作用下振动衰减的较快,铸铁及钢立柱振幅衰减相对慢一些,因此混凝土立柱的减振性明显好一些。

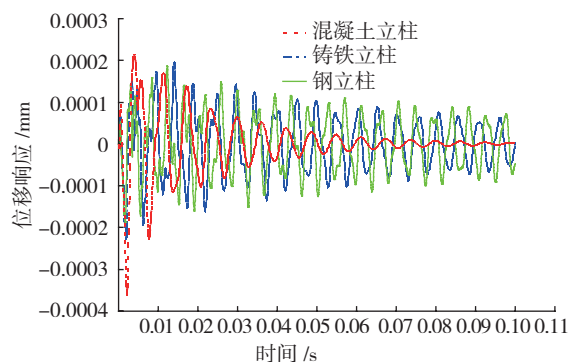


图10 混凝土/铸铁/钢立柱 Y 方向的位移-时间响应对比

Fig.10 Comparison of Y direction displacement vs time response of concrete/cast iron/steel columns

6 结论

对混凝土、铸铁、钢3种材质立柱进行了静力、模态和瞬态分析,分析数据表明,钢立柱具有最好的承压能

(下转第99页)