



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104215465 A

(43) 申请公布日 2014. 12. 17

(21) 申请号 201410387755. 1

G01M 7/02(2006. 01)

(22) 申请日 2014. 08. 07

(71) 申请人 中国矿业大学

地址 221116 江苏省徐州市大学路 1 号中国矿业大学科研院

(72) 发明人 沈刚 朱真才 李翔 曹国华  
周公博 李伟 汤裕 张磊  
彭玉兴 卢昊

(74) 专利代理机构 南京瑞弘专利商标事务所  
(普通合伙) 32249

代理人 杨晓玲

(51) Int. Cl.

G01M 17/08(2006. 01)

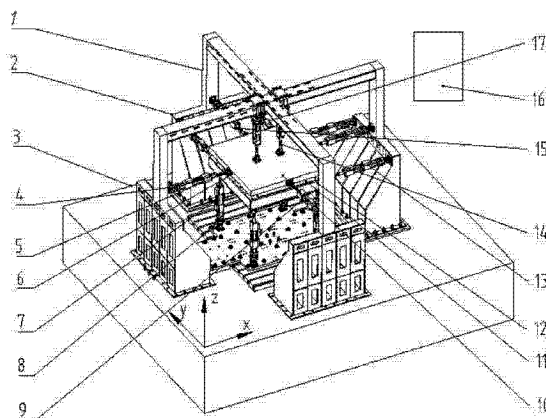
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

振动与加载多自由度转向架集成耦合模拟系统及方法

(57) 摘要

一种振动与加载多自由度转向架集成耦合模拟系统及方法,属于高速列车转向架模拟系统及方法。拉压力传感器、位移传感器均安装在伺服液压缸上,加速度传感器安装在六自由度激振试验台上,分别检测伺服液压缸缸杆行程、所受拉力或压力大小和六自由度激振试验台加速度,通过 AD 板卡 PCI 1716 反馈给伺服控制器;X、Y、Z 方向的激振液压缸作用于六自由度激振试验台,模拟六个自由度的运动;X、Y、Z 方向的力加载液压缸作用于车体模拟装置,模拟四自由度静态、动态力加载,与六自由度振动模拟结合,形成耦合模拟。该耦合模拟系统降低多余力和动载荷干扰因素,为高速列车转向架提供了更加真实的耦合力学模拟环境,在耦合环境下的状态得到更加真实、准确的检测。



1. 一种振动与加载多自由度转向架集成耦合模拟系统,其特征是:所述控制系统包括六自由度激振试验台、AD板卡PCI1716、DA板卡PCL6126和多组伺服液压缸控制系统,每一组伺服液压缸控制系统均包括激振器控制系统和力加载控制系统;

所述的激振器控制系统包括激振伺服液压缸、激振电液伺服阀、激振拉压力传感器、激振位移传感器、激振加速度传感器和激振伺服控制器;激振器系统中的激振电液伺服阀安装在激振伺服液压缸上,激振拉压力传感器一端与液压缸缸杆连接,另一端与铰接支座连接,激振加速度传感器安装在六自由度激振试验台上,激振位移传感器通过螺栓一端与激振伺服液压缸缸筒连接,另一端与缸杆连接;

所述的力加载控制系统包括力加载伺服液压缸、加载电液伺服阀、加载拉压力传感器、加载位移传感器和加载伺服控制器;力加载系统中的力加载电液伺服阀安装在力加载伺服液压缸上,力加载拉压力传感器一端与液压缸缸杆连接,另一端与铰接支座连接,力加载位移传感器通过螺栓一端与力加载伺服液压缸缸筒连接,另一端与缸杆连接;力加载控制系统中的力加载伺服液压缸、加载电液伺服阀、加载拉压力传感器、加载位移传感器和加载伺服控制器与激振器控制系统中的激振伺服液压缸、激振电液伺服阀、激振拉压力传感器、激振位移传感器、激振加速度传感器和激振伺服控制器分别相同;伺服控制器的输出端和输入端分别和PCL6126板卡和PCI1716板卡连接,实现对激振电液伺服阀和力加载电液伺服阀的控制和各传感器信号的采集,实现对激振控制系统和力加载控制系统的控制。

2. 根据权利要求1所述的一种振动与加载多自由度转向架集成耦合模拟系统,其特征是:所述的激振伺服液压缸通过铰支座一端与反力墙连接,另一端与六自由度的激振试验台连接;水平力加载伺服液压缸通过铰支座一端与反力墙连接,另一端与车体模拟装置连接;垂直力加载伺服液压缸通过铰支座一端与龙门架连接,另一端与车体模拟装置连接;六自由度激振试验台与8只激振伺服液压缸连接,并通过8只激振伺服液压缸加载,车体模拟装置与6只力加载液压缸连接,并通过6只力加载液压缸加载;车体模拟装置和六自由度激振试验台之间有高速列车转向架,高速列车转向架与车体模拟装置和六自由度激振试验台通过螺栓连接。

3. 根据权利要求1所述的一种振动与加载多自由度转向架集成耦合模拟系统,其特征是:所述的8只激振伺服液压缸分别为:Z单方向有4只激振伺服液压缸,X和Y单方向各两只激振伺服液压缸;所述的6只力加载液压缸分别为:Z方向为两只力加载液压缸,X和Y方向各对顶布置两只力加载液压缸。

4. 根据权利要求1所述的一种振动与加载多自由度转向架集成耦合模拟系统,其特征是:其特征是:所述的AD板卡PCI1716与DA板卡PCL6126进行数据通讯;拉压力传感器、位移传感器固定于8只激振伺服液压缸和6只力加载伺服液压缸上,加速度传感器固定于8只激振伺服液压缸,进行信号采集;位移传感器、拉压力传感器和加速度传感器与AD板卡PCI1716的输入端连接,AD板卡PCI1716的输出端与伺服控制器16连接,伺服控制器16的输出端与DA板卡PCL6126的输入端连接,DA板卡PCL6126的输出端与电液伺服阀17连接;传感器信号通过电缆传送至各板卡,板卡安装在伺服控制系统的工控机中;所述的伺服控制器16为激振伺服控制器和加载伺服控制器。

5. 一种使用权利要求1-4任意一项所述系统的振动与加载多自由度转向架集成耦合模拟方法,其特征是:包括如下步骤:

一：给定六自由度振动和四自由度加载的组合耦合环境模拟信号，根据耦合环境产生机理得到期望的耦合环境模拟信号，模拟信号经过耦合协调控制系统的耦合模拟协调控制器和耦合模拟控制分解矩阵得到振动及力驱动信号；振动信号经激振控制系统处理传递至激振伺服液压缸的电液伺服阀，驱动伺服液压缸作用于六自由度激振试验台；力驱动信号经力加载控制系统处理传递至力加载液压缸的电液伺服阀，驱动伺服液压缸作用于车体模拟装置；所述六自由度振动是指六自由度激振试验台在 8 只激振伺服液压缸的作用下实现 X、Y、Z 轴方向和绕 X、Y、Z 轴方向六个自由度的振动；四自由度加载是指车体模拟装置在 6 只力加载液压缸的作用下实现 X、Y、Z 轴方向和绕 Y 轴方向四个自由度的力加载；

二：六自由度激振试验台在 8 只激振伺服液压缸的作用下实现 X、Y、Z 轴方向和绕 X、Y、Z 轴方向六个自由度的振动，由于高速列车转向架与六自由度激振试验台相连，可以对高速列车转向架进行六自由度振动模拟；车体模拟装置在 6 只力加载液压缸的作用下实现 X、Y、Z 轴方向和绕 Y 轴方向四个自由度的力加载，伺服液压缸加载后停止进行四自由度静态力加载模拟，伺服液压缸在运动中保持加载力大小不变可进行四自由度动态力加载模拟，由于高速列车转向架与车体模拟装置相连，可以对高速列车转向架进行四自由度静态、动态力加载模拟；三者组合形成耦合模拟；

三：安装在 8 只激振伺服液压缸上的位移传感器、拉压力传感器和安装在六自由度激振试验台的加速度传感器分别对每只液压缸的位移、拉压力信号和六自由度激振试验台的加速度信号进行采集，安装在 6 只力加载伺服液压缸上的位移传感器和拉压力传感器分别对每只液压缸的位移、拉压力信号进行采集。激振伺服液压缸的信号经过力加速度和位移自由度合成反馈至耦合控制器协调控制器，力加载伺服液压缸的信号经过力自由度合成反馈至耦合控制器协调控制器，系统形成闭环。

## 振动与加载多自由度转向架集成耦合模拟系统及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种高速列车转向架模拟系统及方法,具体地说涉及一种振动与加载多自由度转向架集成耦合模拟系统及方法。

### 背景技术

[0002] 自铁路的第六次大提速后,“提速”和“增运”给铁路部门带来了一定的经济效益和社会效益,同时也给我们带来一系列新的技术难题。其中,由于列车运行速度的提高,作用于车辆与轨道结构之间的动载荷随之增大,使得车辆系统中各部件间的振动逐渐加剧,这些载荷作用在转向架上,会严重影响着转向架的结构强度和使用寿命,因此,对转向架参数进行精确测定并对参数进行优化具有重要意义。然而,现有的转向架试验台具有一定的局限性,特别是随着系统耦合作用、线路激扰和气动作用的显著增强,现有试验台无法模拟转向架在耦合环境下的整体性能。

### 发明内容

[0003] 针对上述现有技术存在的问题,本发明的目的是要提供一种振动与加载多自由度转向架集成耦合模拟系统及方法,是一种可以对高速列车转向架运行平稳性、稳定性、安全性进行综合考核的耦合模拟系统及方法。

[0004] 为了实现上述目的,本发明采用的技术方案是:该高速列车转向架集成耦合模拟系统包括控制系统和控制方法;

[0005] 所述控制系统包括六自由度激振试验台、AD板卡 PCI1716、DA板卡 PCL6126 和多组伺服液压缸控制系统,每一组伺服液压缸控制系统均包括激振器控制系统和力加载控制系统;

[0006] 所述的激振器控制系统包括激振伺服液压缸、激振电液伺服阀、激振拉压力传感器、激振位移传感器、激振加速度传感器和激振伺服控制器;激振器系统中的激振电液伺服阀安装在激振伺服液压缸上,激振拉压力传感器一端与液压缸缸杆连接,另一端与铰接支座连接,激振加速度传感器安装在六自由度激振试验台上,激振位移传感器通过螺栓一端与激振伺服液压缸缸筒连接,另一端与缸杆连接;

[0007] 所述的力加载控制系统包括力加载伺服液压缸、加载电液伺服阀、加载拉压力传感器、加载位移传感器和加载伺服控制器;力加载系统中的力加载电液伺服阀安装在力加载伺服液压缸上,力加载拉压力传感器一端与液压缸缸杆连接,另一端与铰接支座连接,力加载位移传感器通过螺栓一端与力加载伺服液压缸缸筒连接,另一端与缸杆连接;力加载控制系统中的力加载伺服液压缸、加载电液伺服阀、加载拉压力传感器、加载位移传感器和加载伺服控制器与激振器控制系统中的激振伺服液压缸、激振电液伺服阀、激振拉压力传感器、激振位移传感器、激振加速度传感器和激振伺服控制器分别相同;伺服控制器的输出端和输入端分别和 PCL6126 板卡和 PCI1716 板卡连接,实现对激振电液伺服阀和力加载电液伺服阀的控制和各传感器信号的采集,实现对激振控制系统和力加载控制系统的控

制。

[0008] 所述的激振伺服液压缸通过铰支座一端与反力墙连接,另一端与六自由度的激振试验台连接;水平力加载伺服液压缸通过铰支座一端与反力墙连接,另一端与车体模拟装置连接;垂直力加载伺服液压缸通过铰支座一端与龙门架连接,另一端与车体模拟装置连接;六自由度激振试验台与 8 只激振伺服液压缸连接,并通过 8 只激振伺服液压缸加载,车体模拟装置与 6 只力加载液压缸连接,并通过 6 只力加载液压缸加载;车体模拟装置和六自由度激振试验台之间有高速列车转向架,高速列车转向架与车体模拟装置和六自由度激振试验台通过螺栓连接。

[0009] 所述的 8 只激振伺服液压缸分别为:Z 单方向有 4 只激振伺服液压缸,X 和 Y 单方向各两只激振伺服液压缸;所述的 6 只力加载液压缸分别为:Z 方向为两只力加载液压缸,X 和 Y 方向各对顶布置两只力加载液压缸。

[0010] 所述的 AD 板卡 PCI1716 与 DA 板卡 PCL6126 进行数据通讯;拉压力传感器、位移传感器固定于 8 只激振伺服液压缸和 6 只力加载伺服液压缸上,加速度传感器固定于 8 只激振伺服液压缸,进行信号采集;位移传感器、拉压力传感器和加速度传感器与 AD 板卡 PCI1716 的输入端连接,AD 板卡 PCI1716 的输出端与伺服控制器 16 连接,伺服控制器 16 的输出端与 DA 板卡 PCL6126 的输入端连接,DA 板卡 PCL6126 的输出端与电液伺服阀 17 连接;传感器信号通过电缆传送至各板卡,板卡安装在伺服控制系统的工控机中;所述的伺服控制器 16 为激振伺服控制器和加载伺服控制器。

[0011] 使用上述系统的振动与加载多自由度转向架集成耦合模拟方法,包括如下步骤:

[0012] 一:给定六自由度振动和四自由度加载的组合耦合环境模拟信号,根据耦合环境产生机理得到期望的耦合环境模拟信号,模拟信号经过耦合协调控制系统的耦合模拟协调控制器和耦合模拟控制分解矩阵得到振动及力驱动信号;振动信号经激振控制系统处理传递至激振伺服液压缸的电液伺服阀,驱动伺服液压缸作用于六自由度激振试验台;力驱动信号经力加载控制系统处理传递至力加载液压缸的电液伺服阀,驱动伺服液压缸作用于车体模拟装置;所述六自由度振动是指六自由度激振试验台在 8 只激振伺服液压缸的作用下实现 X、Y、Z 轴方向和绕 X、Y、Z 轴方向六个自由度的振动;四自由度加载是指车体模拟装置在 6 只力加载液压缸的作用下实现 X、Y、Z 轴方向和绕 Y 轴方向四个自由度的力加载;

[0013] 二:六自由度激振试验台在 8 只激振伺服液压缸的作用下实现 X、Y、Z 轴方向和绕 X、Y、Z 轴方向六个自由度的振动,由于高速列车转向架与六自由度激振试验台相连,可以对高速列车转向架进行六自由度振动模拟;车体模拟装置在 6 只力加载液压缸的作用下实现 X、Y、Z 轴方向和绕 Y 轴方向四个自由度的力加载,伺服液压缸加载后停止进行四自由度静态力加载模拟,伺服液压缸在运动中保持加载力大小不变可进行四自由度动态力加载模拟,由于高速列车转向架与车体模拟装置相连,可以对高速列车转向架进行四自由度静态、动态力加载模拟;三者组合形成耦合模拟;

[0014] 三:安装在 8 只激振伺服液压缸上的位移传感器、拉压力传感器和安装在六自由度激振试验台的加速度传感器分别对每只液压缸的位移、拉压力信号和六自由度激振试验台的加速度信号进行采集,安装在 6 只力加载伺服液压缸上的位移传感器和拉压力传感器分别对每只液压缸的位移、拉压力信号进行采集。激振伺服液压缸的信号经过力加速度和位移自由度合成反馈至耦合控制器协调控制器,力加载伺服液压缸的信号经过力自由度合

成反馈至耦合控制器协调控制器,系统形成闭环。

[0015] 有益效果:由于采用上述方案,拉压力传感器、位移传感器均安装在伺服液压缸上,加速度传感器安装在六自由度激振试验台上,分别检测伺服液压缸缸杆行程、所受拉力或压力大小和六自由度激振试验台加速度,通过 AD 板卡 PCI 1716 反馈给伺服控制器。X、Y、Z 方向的激振液压缸作用于六自由度激振试验台,模拟六个自由度的运动;X、Y、Z 方向的力加载液压缸作用于车体模拟装置,模拟四自由度静态、动态力加载,与六自由度振动模拟结合,形成耦合模拟;该耦合模拟系统了降低多余力和动载荷干扰因素,消除强干扰耦合现象,解决具有耦合特性的复杂力学环境模拟及评价问题,为高速列车转向架提供了更加真实的耦合力学模拟环境,使其在耦合环境下的状态得到更加真实、准确的检测。

[0016] 由于轨道车辆属于复杂的多刚体、多自由度、多耦合的动力学系统,各个部件之间的存在一定的相互作用和相对运动关系,现有试验设备无法实现整车落成状态下的转向架各系悬挂刚度、回转刚度及径向刚度参数。本发明可以实现六自由度振动模拟、四自由度静态和动态力加载模拟及三者之间的耦合模拟,可以对高速列车转向架进行全面评测。

### 附图说明

[0017] 图 1 是本发明的装置结构图。

[0018] 图 2 是本发明的液压伺服控制系统原理图;

[0019] 图 3 是本发明控制系统原理方框图。

[0020] 图中:1、龙门架;2、反力墙;3、地基;4、X 方向力加载伺服液压缸;5、拉压力传感器;6、加速度传感器;7、位移传感器;8、Z 方向激振伺服液压缸;9、Y 方向力加载伺服液压缸;10、六自由度激振试验台;11、高速列车转向架;12、车体模拟装置;13、X 方向激振伺服液压缸;14、Z 方向力加载伺服液压缸;15、Y 方向激振伺服液压缸;16、伺服控制器;17、电液伺服阀。

### 具体实施方式

[0021] 实施例 1:该高速列车转向架集成耦合模拟系统包括控制系统和控制方法;

[0022] 所述控制系统包括六自由度激振试验台、AD 板卡 PCI1716、DA 板卡 PCL6126 和多组伺服液压缸控制系统,每一组伺服液压缸控制系统均包括激振器控制系统和力加载控制系统;

[0023] 所述的激振器控制系统包括激振伺服液压缸、激振电液伺服阀、激振拉压力传感器、激振位移传感器、激振加速度传感器和激振伺服控制器;激振器系统中的激振电液伺服阀安装在激振伺服液压缸上,激振拉压力传感器一端与液压缸缸杆连接,另一端与铰接支座连接,激振加速度传感器安装在六自由度激振试验台上,激振位移传感器通过螺栓一端与激振伺服液压缸缸筒连接,另一端与缸杆连接;

[0024] 所述的力加载控制系统包括力加载伺服液压缸、加载电液伺服阀、加载拉压力传感器、加载位移传感器和加载伺服控制器;力加载系统中的力加载电液伺服阀安装在力加载伺服液压缸上,力加载拉压力传感器一端与液压缸缸杆连接,另一端与铰接支座连接,力加载位移传感器通过螺栓一端与力加载伺服液压缸缸筒连接,另一端与缸杆连接;力加载控制系统中的力加载伺服液压缸、加载电液伺服阀、加载拉压力传感器、加载位移传感器和

加载伺服控制器与激振器控制系统中的激振伺服液压缸、激振电液伺服阀、激振拉压力传感器、激振位移传感器、激振加速度传感器和激振伺服控制器分别相同；伺服控制器的输出端和输入端分别和 PCL6126 板卡和 PCI1716 板卡连接，实现对激振电液伺服阀和力加载电液伺服阀的控制和各传感器信号的采集，实现对激振控制系统和力加载控制系统的控制。

[0025] 所述的激振伺服液压缸通过铰支座一端与反力墙连接，另一端与六自由度的激振试验台连接；水平力加载伺服液压缸通过铰支座一端与反力墙连接，另一端与车体模拟装置连接；垂直力加载伺服液压缸通过铰支座一端与龙门架连接，另一端与车体模拟装置连接；六自由度激振试验台与 8 只激振伺服液压缸连接，并通过 8 只激振伺服液压缸加载，车体模拟装置与 6 只力加载液压缸连接，并通过 6 只力加载液压缸加载；车体模拟装置和六自由度激振试验台之间有高速列车转向架，高速列车转向架与车体模拟装置和六自由度激振试验台通过螺栓连接。

[0026] 所述的 8 只激振伺服液压缸分别为：Z 单方向有 4 只激振伺服液压缸，X 和 Y 单方向各两只激振伺服液压缸；所述的 6 只力加载液压缸分别为：Z 方向为两只力加载液压缸，X 和 Y 方向各对顶布置两只力加载液压缸。

[0027] 所述的 AD 板卡 PCI1716 与 DA 板卡 PCL6126 进行数据通讯；拉压力传感器、位移传感器固定于 8 只激振伺服液压缸和 6 只力加载伺服液压缸上，加速度传感器固定于 8 只激振伺服液压缸，进行信号采集；位移传感器、拉压力传感器和加速度传感器与 AD 板卡 PCI1716 的输入端连接，AD 板卡 PCI1716 的输出端与伺服控制器 16 连接，伺服控制器 16 的输出端与 DA 板卡 PCL6126 的输入端连接，DA 板卡 PCL6126 的输出端与电液伺服阀 17 连接；传感器信号通过电缆传送至各板卡，板卡安装在伺服控制系统的工控机中；所述的伺服控制器 16 为激振伺服控制器和加载伺服控制器。

[0028] 所述控制系统包括多组伺服液压缸控制系统，分为激振器控制系统和力加载控制系统。每组激振器控制系统包括激振伺服液压缸、电液伺服阀 17、拉压力传感器 5、位移传感器 7、加速度传感器 6 和伺服控制器 16；所述的激振伺服液压缸为 Z 方向激振伺服液压缸 8、X 方向激振伺服液压缸 13 和 Y 方向激振伺服液压缸 15。

[0029] 每组力加载控制系统包括力加载伺服液压缸、电液伺服阀 17、拉压力传感器 5、位移传感器 7 和伺服控制器 16；所述的加载伺服液压缸为 X 方向力加载伺服液压缸 4、Y 方向力加载伺服液压缸 9 和 Z 方向力加载伺服液压缸 14。

[0030] 所述的控制方法，具体步骤为：

[0031] 一、给定六自由度振动和四自由度加载的组合耦合环境模拟信号，根据耦合环境产生机理得到期望的耦合环境模拟信号，模拟信号经过耦合协调控制系统的耦合模拟协调控制器和耦合模拟控制分解矩阵得到振动及力驱动信号；振动信号经激振控制系统处理传递至激振伺服液压缸的电液伺服阀，驱动伺服液压缸作用于六自由度激振试验台；力驱动信号经力加载控制系统处理传递至力加载液压缸的电液伺服阀，驱动伺服液压缸作用于车体模拟装置；所述六自由度振动是指六自由度激振试验台在 8 只激振伺服液压缸的作用下实现 X、Y、Z 轴方向和绕 X、Y、Z 轴方向六个自由度的振动；四自由度加载是指车体模拟装置在 6 只力加载液压缸的作用下实现 X、Y、Z 轴方向和绕 Y 轴方向四个自由度的力加载；

[0032] 二、六自由度激振试验台在 8 只激振伺服液压缸的作用下实现 X、Y、Z 轴方向和绕

X、Y、Z 轴方向六个自由度的振动,由于高速列车转向架与六自由度激振试验台相连,可以对高速列车转向架进行六自由度振动模拟;车体模拟装置在 6 只力加载液压缸的作用下实现 X、Y、Z 轴方向和绕 Y 轴方向四个自由度的力加载,伺服液压缸加载后停止进行四自由度静态力加载模拟,伺服液压缸在运动中保持加载力大小不变可进行四自由度动态力加载模拟,由于高速列车转向架与车体模拟装置相连,可以对高速列车转向架进行四自由度静态、动态力加载模拟;三者组合形成耦合模拟;

[0033] 三、安装在 8 只激振伺服液压缸上的位移传感器、拉压力传感器和安装在六自由度激振试验台的加速度传感器分别对每只液压缸的位移、拉压力信号和六自由度激振试验台的加速度信号进行采集,安装在 6 只力加载伺服液压缸上的位移传感器和拉压力传感器分别对每只液压缸的位移、拉压力信号进行采集。激振伺服液压缸的信号经过力加速度和位移自由度合成反馈至耦合控制器协调控制器,力加载伺服液压缸的信号经过力自由度合成反馈至耦合控制器协调控制器,系统形成闭环。

[0034] 如图 1 所示,本发明的基于六自由度振动模拟与多通道协调加载的高速列车转向架集成耦合模拟系统主要由龙门架 1、反力墙 2、地基 3、X 方向力加载伺服液压缸 4、拉压力传感器 5、加速度传感器 6、位移传感器 7、Z 方向激振伺服液压缸 8、Y 方向力加载伺服液压缸 9、六自由度激振试验台 10、高速列车转向架 11、车体模拟装置 12、X 方向激振伺服液压缸 13、Z 方向力加载伺服液压缸 14、Y 方向激振伺服液压缸 15、伺服控制器 16、电液伺服阀构成 17。拉压力传感器 5、加速度传感器 6、位移传感器 7 均安装在伺服液压缸上,分别检测伺服液压缸缸杆行程、所受拉力或压力大小和加速度,通过 AD 板卡 PCI 1716 反馈给伺服控制器 16。X、Y、Z 方向的激振液压缸作用于六自由度激振试验台 10,模拟六个自由度的运动;X、Y、Z 方向的力加载液压缸作用于车体模拟装置 12,模拟四自由度静态、动态力加载,与六自由度振动模拟结合,形成耦合模拟。高速列车转向架 11 位于六自由度激振试验台 10 和车体模拟装置 12 之间。



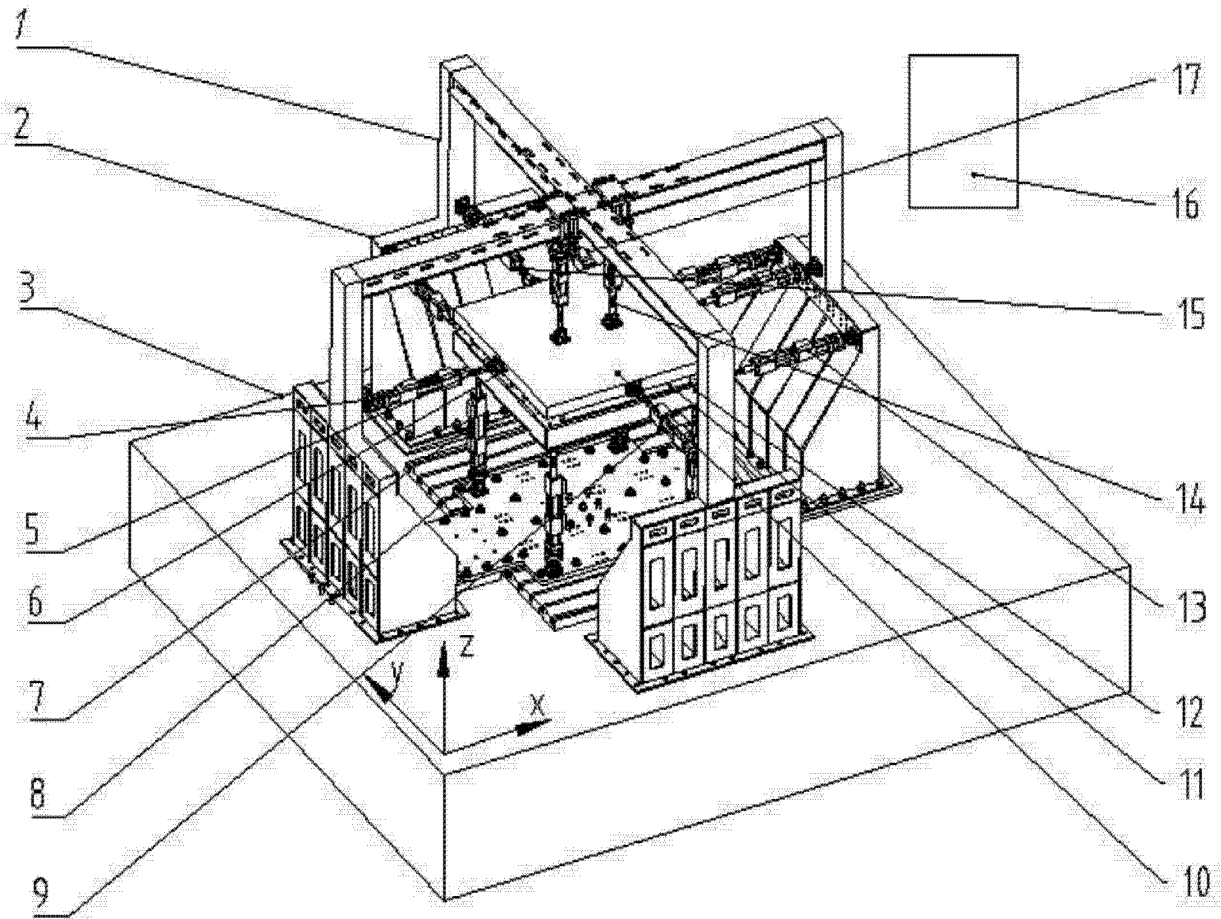


图 1

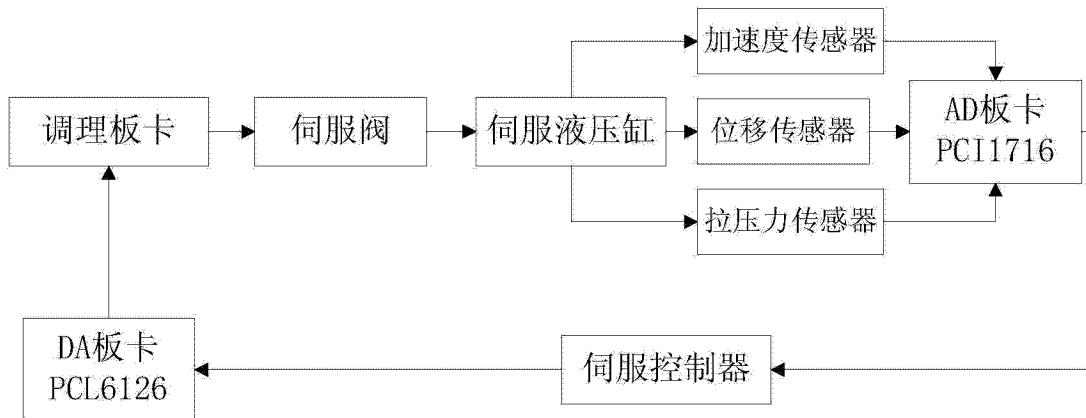


图 2

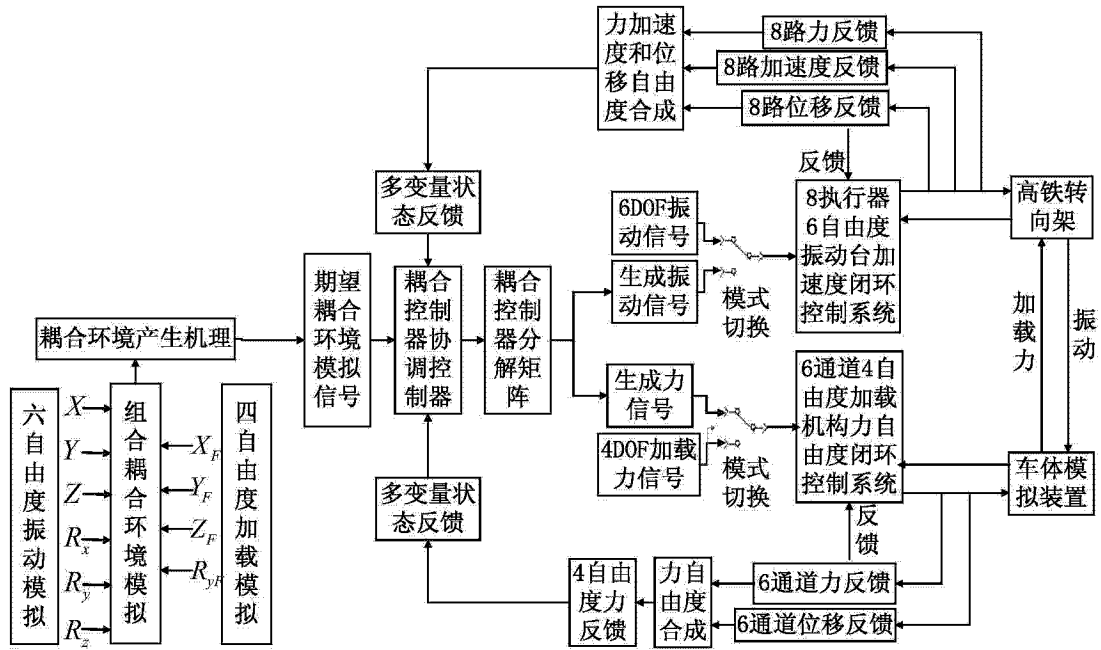


图 3