

矿用自卸车车架振动疲劳寿命分析

李鹏飞, 冯国胜, 贾素梅

(石家庄铁道大学 机械工程学院, 河北 石家庄 050043)

摘要:为预测某矿用三轴重型自卸车车架的疲劳寿命,在 Hypermesh 中综合运用壳单元,实体单元,梁单元,焊接单元,刚、柔性连接单元等多种单元建立完整车架有限元模型,分析强度之后对其进行频响分析,得到车架载荷输入与结构应力之间的传递函数;在 Nastran 中生成车架 MNF 中性文件,在 ADAMS/CAR 中建立整车刚柔耦合模型,得到相应的载荷时程曲线,将其进行快速傅里叶变换结合频响分析结果,准确地预估车架疲劳寿命。

关键词:自卸车车架;频响分析;振动疲劳

中图分类号:U463.232 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-0373(2016)01-0097-06

0 引言

在某矿山作业现场,某公司生产的三轴矿用自卸车在投入运营不久后在路面随机激励下车架及推力杆极易产生疲劳破坏。由于疲劳失效引起的交变峰值往往远低于静态断裂分析估算出来的“安全系数”^[1-2],因此不仅要对接架进行静态和动态响应分析还需对其进行疲劳寿命分析。很多学者在对车架进行强度及疲劳寿命分析时,很少考虑副车架、钢板弹簧,并且大多数采用应力疲劳进行寿命分析即取车架一段载荷时程曲线在时域内预测车架疲劳寿命^[3-6]。然而副车架及钢板弹簧对车架的强度及疲劳影响较大,分析时应加以考虑,在强度分析时建立了钢板弹簧有限元模型,为了得到准确的载荷时程曲线在建立整车动力学模型时用离散梁法建立了前后钢板弹簧模型。由于车架激励来源于随机路面,在一段时间内无法反应其完整信息。本文充分考虑了副车架及钢板弹簧,且在频域内对接架寿命进行疲劳预测。

1 车架有限元模型建立及强度分析

1.1 钢板弹簧有限元建模及迟滞非线性分析

为了节省计算资源,在分析板簧迟滞非线性时采用 1/4 模型。选用 solid45 单元,板间接触单元选用 TARGE170(三维目标单元)和 CONTA173(三维面接触单元),其中 FKN 接触刚度及 FTOLN 渗透量因子是两个重要参数。接触刚度因子 FKN 过大易造成不收敛,过小易发生渗透。对于大面积柔体接触 FKN 一般取值在 0.01~1,本文取 0.7^[7-9],有限元模型如图 1。板间摩擦系数取 0.3,约束底部板簧安装部位节点所有自由度,分 3 步加载:第一步给螺栓中心孔垂直向下位移载荷,使各簧片处于接触状态来模拟板簧装配;第二步在顶端板簧吊耳处施加 2 400 N 垂直向下作用力,模拟加载;第三步设置载荷为 0,模拟卸载过程。得到板簧静载荷作用下位移载荷曲线如图 2。由分析结果可知,板簧存在迟滞非线性。

1.2 车架有限元模型及强度校核

矿用车轴距 3 500+1 400 mm,重载常用车速 10 km/h,空载常用车速 30 km/h,最大爬坡力 30%,整车装备质量 21 t,最大载货质量 55 t,前簧静刚度 6 400 N/cm,后簧静刚度 36 159 N/cm。在 CATIA 中建立车架模型如图 3,导入 Hypermesh 中提取车架中面,车架采用壳单元而钢板弹簧及推力杆采用实体单

收稿日期:2015-04-27 责任编辑:刘宪福 DOI:10.13319/j.cnki.sjztdxxb.2016.01.18

基金项目:国家自然科学基金项目(11272220)

作者简介:李鹏飞(1991-),男,硕士研究生,研究方向为车辆现代设计理论及方法。E-mail:18971147320@163.com

李鹏飞,冯国胜,贾素梅.矿用自卸车车架振动疲劳寿命分析[J].石家庄铁道大学学报:自然科学版,2016,29(1):97-102.

元建模。车架横梁与纵梁及搭接板的铆接用 *cweld* 单元模拟,主副车架之间用 *area connectors* 连接。吊耳与车架之间的壳、实体单元无法直接建立连接,需先从实体单元上提取面单元再使用 *rbe3* 单元将其连接,然后再删除从实体上生成的面单元。在吊耳与钢板弹簧的卷耳轴向建立梁单元,然后采用 *reb3* 单元连接梁与吊耳及板簧卷耳,释放其绕轴向转动的自由度。这样可以实现吊耳与卷耳之间的相互转动,以此模拟板簧与吊耳的销轴连接如图 4,推力杆与车架的连接与此类似。货物、发动机、驾驶室的质量在相应位置建立质量单元,然后用 *rbe2* 与车架相连以实现载荷在车架上的均匀分布,生成的车架有限元模型如图 5。

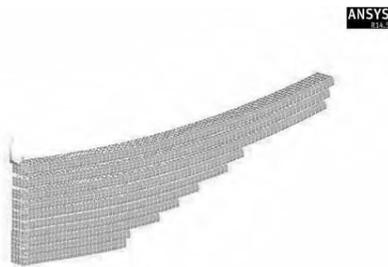


图 1 自卸车钢板弹簧有限元模型图

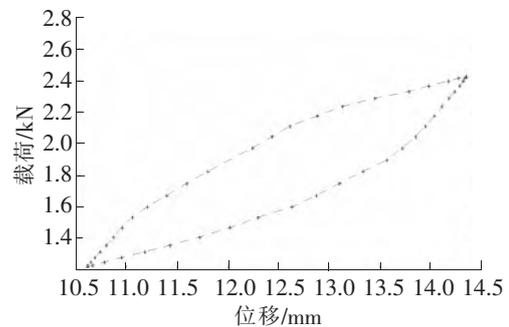


图 2 板簧静载荷作用下位移载荷曲线

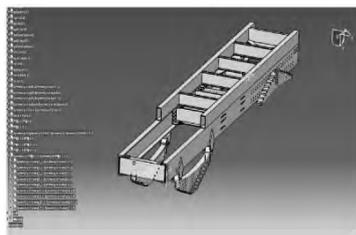


图 3 车架三维模型

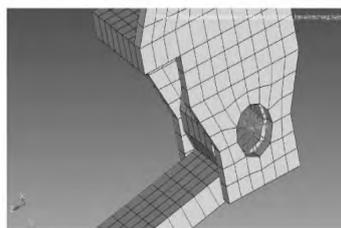


图 4 板簧卷耳与吊耳连接



图 5 车架有限元模型

自卸车工作时的工况主要有:弯曲工况、扭转工况、举升工况、上下坡工况、制动工况等。其中弯曲工况为最常见工况,而弯扭组合工况为工作最恶劣工况,因此本文着重分析这两种工况下的车架动强度。为模拟自卸车运行过程中瞬时受力情况,由实验和计算得到在弯曲工况分析时,垂向载荷乘以 2.5 倍动载系数^[10]。约束钢板弹簧底部节点所有自由度,为防止板簧发生侧滑,约束其侧向自由度。将重力加速度乘以 2.5 施加重力载荷进行弯曲分析。用一轮悬空来模拟弯扭工况,删除左侧板簧约束保持不变。现有研究表明,车架进行弯扭组合工况分析时最大动载系数不宜超过 2.5^[11]。弯曲工况下车架应力云图如图 6 所示,最大应力为 360 MPa,应力主要集中在推力杆、第四横梁及前板簧车架与后吊耳连接处。弯扭组合工况下车架应力云图如图 7 所示,最大应力为 381 MPa,应力主要集中在前板簧车架与吊耳连接处及推力杆处。

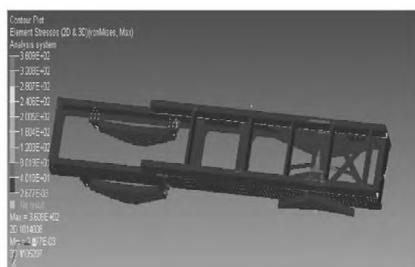


图 6 弯曲工况车架应力云图

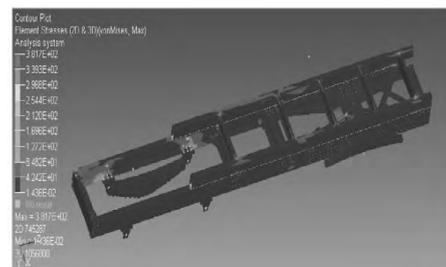


图 7 扭转工况车架应力云图

2 车架动力响应分析

进行振动疲劳寿命分析时,提取的是板簧吊耳处的载荷时程曲线,在频响分析时得到的应是车架吊耳处应力激励与车架响应的传递函数,因此频响分析时去掉模型中的钢板弹簧。频响函数描述的是线性系统在频率域上的动态特性,是线性动力系统的本质特征,与外界激励大小及类型无关,即无论激励是谐和的,随机的或任意非周期函数所得到的频响函数均相同。首先将 Hypermesh 中的车架有限元模型导入 Nastran 中进行自由模态分析,对车架的动态特性影响较大的是低阶固有频率,且常用车速下车架受到的路面激励频率在 0.33~28.3 Hz,所以只计算其前几阶固有频率,除去前 6 阶自由模态,车架 7 阶固有频率 14.2 Hz,8 阶固有频率 15.9 Hz,9 阶固有频率 35.9 Hz,10 阶固有频率 36.6 Hz,11 阶固有频率 39.9 Hz,12 阶固有频率 49.6 Hz。

在 Nastran 中对车架进行频响分析,分别对车架与吊耳处施加一随频率变化的垂直向上的单位载荷,按实际情况约束其他吊耳。由前面的模态分析可知,车架前几阶固有频率低于 50 Hz,因此单位力的频率取值范围取 0~50 Hz,载荷步设置为 50,得到车架的频率响应函数。以车架前板簧右前端吊耳连接处收到 0~50 Hz 的单位激励为例,取前板簧吊耳处节点 Node1059877(右前吊耳处)、Node1060732(右后吊耳处)、Node1054628(左前吊耳处)、Node1055496(左后吊耳处),后板簧吊耳处节点 Node1062720(右前吊耳处)、Node1015769(右后吊耳处)、Node1057568(左前吊耳处)、Node1008459(左后吊耳处)的应力响应如图 8、9,推力杆处节点 Node1106253(后推力杆节点)、Node1110491(前推力杆节点)的应力响应如图 10。频率在 0~50 Hz 的单位力激发了车架的低阶固有频率,且在 15 Hz、16 Hz 附近尤为明显,这段频率包含了部分路面激励频率,在长期的路面激励下自卸车的应力响应较高,严重影响车架的疲劳寿命。

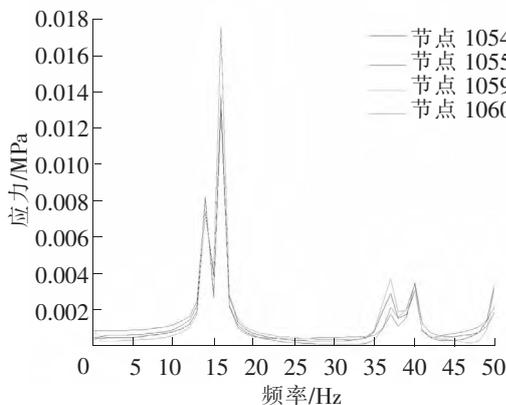


图 8 前板簧吊耳节点处应力响应

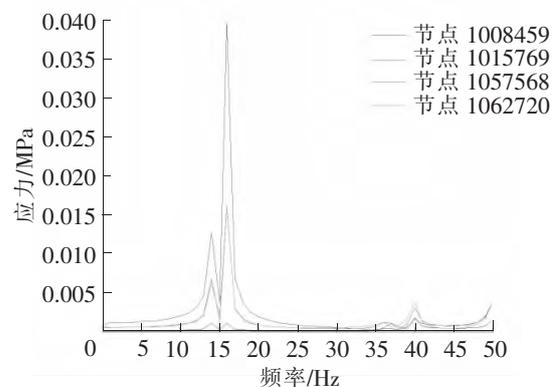


图 9 后板簧吊耳处节点应力响应

3 整车刚-柔耦合动力学模型

在 Matlab 中采用谐波叠加法创建自卸车常用车速 10 km/h 的 C 级路谱如图 11 所示,并将其一纵向截面路面的功率谱密度与标准路谱功率谱密度比较如图 12,可以看出仿真生成的三维路面与标准路面谱功率谱有较好的吻合度,可以真实的反应 C 级路面的实际状况^[12]。在 Nastran 中建立车架的 MNF 中性文件导入 ADAMS/CAR 中建立刚-柔耦合整车模型,对于钢板弹簧采用离散梁法建立模型,悬架中减震器的特性近似公式为

$$F = c\dot{x} + \eta\dot{x}^n \quad (1)$$

式中, η 为非线性参数; c 为阻尼; n 为指数。矿用自卸车减

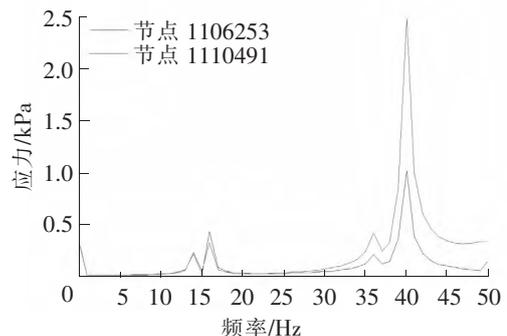


图 10 推力杆处节点应力响应

震器阻尼特性如图 13 所示。整车模型中的轮胎采用 PAC2002 轮胎模型,最终生成的整车道路模型如图 14 所示。仿真得到前后簧处载荷时程曲线如图 15、图 16 所示,将其进行快速傅里叶变换得到其功率谱密度如图 17、图 18 所示。

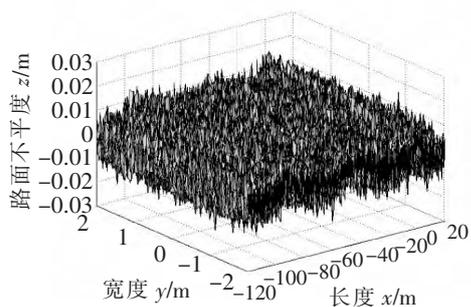


图 11 C 级路面三维路谱

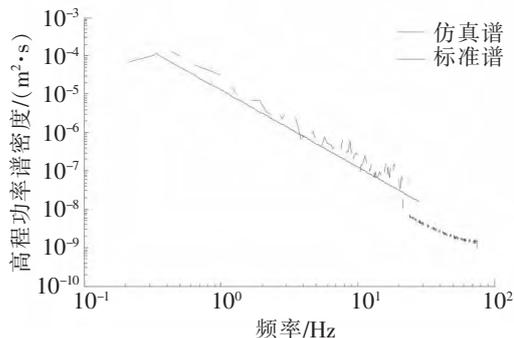


图 12 C 级路面与标准路面功率谱密度对比曲线

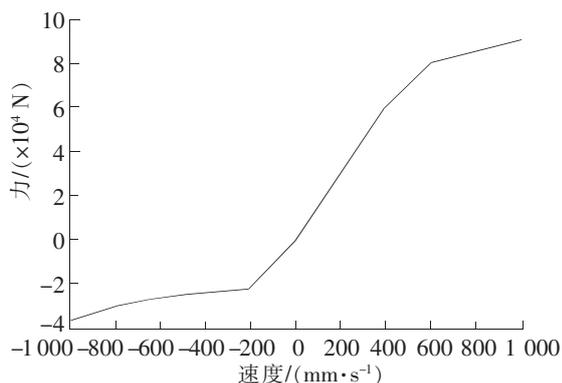


图 13 减震器阻尼力与速度曲线



图 14 整车道路模型

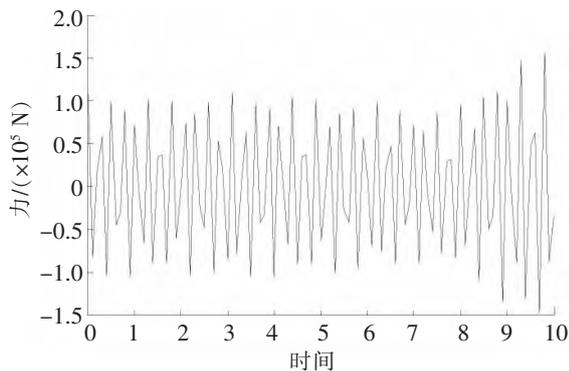


图 15 后悬架满载时载荷时程曲线

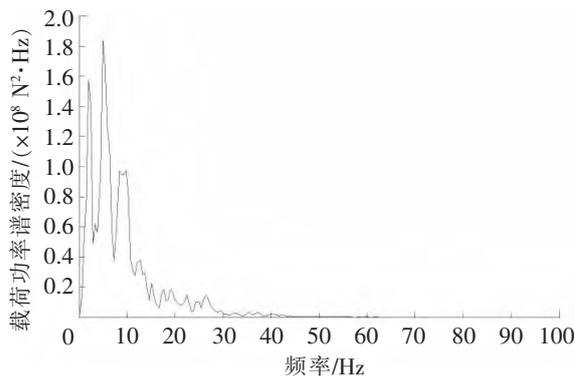


图 16 后悬架载荷功率谱密度

4 自卸车振动疲劳分析

由时域内的载荷时程曲线进行 S-N 全寿命分析,对于周期载荷效果较好^[13],但对于随机激励载荷则需很长的信号记录才能较准确的表达信号信息。随机信号的功率谱密度则包含了随机信号的统计特征,特别是对路面激励这种可以看做具有各态历经特性的信号,功率谱密度可以准确的表达^[14]。

振动疲劳寿命是根据车架的结构应力响应函数得其寿命,运用 Dirlik 经验公式计算其寿命预测。将前面的各频响分析所得的结构传递函数与其对应的载荷功率谱密度相关联结合材料的 S-N 曲线^[15],得到车架的疲劳寿命如图 19,推力杆寿命如图 20。由分析可知车架疲劳寿命较低处主要集中于车架第二横梁与纵梁连接处、下翼板及推力杆处,部分低节点寿命如表 3 所示。

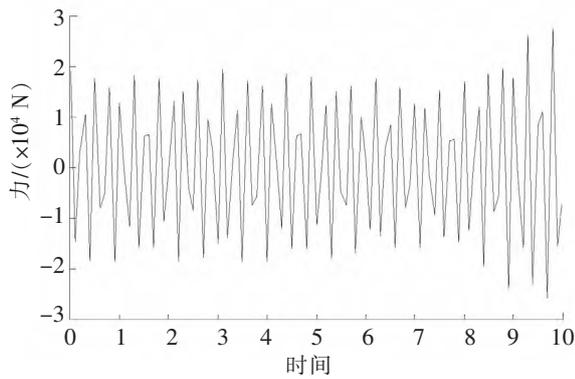


图 17 前悬架满载时载荷时程曲线

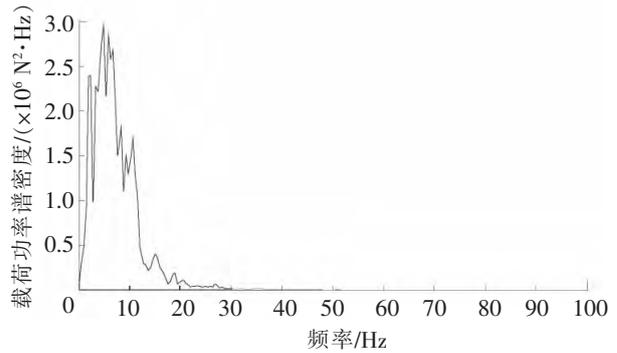


图 18 前悬架载荷功率谱密度

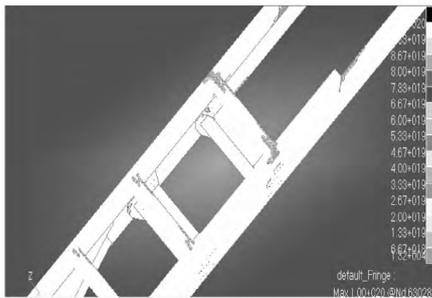


图 19 车架振动疲劳寿命

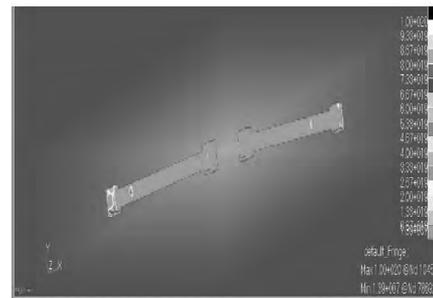


图 20 推力杆振动疲劳寿命

表 3 部分节点及最小寿命循环次数

节点位置	节点编号	循环次数
推力杆节点编号	1 304 268	23 517
	1 312 689	23 869
车架节点编号	755 556	1.429×10^5
	722117	1.563×10^5

传统的用时域载荷对结构进行静疲劳分析是因为结构的动态特性对疲劳寿命的贡献处于次要因素,但对于一些大质量结构或是激励频率接近或涵盖结构的部分固有频率时结构的动态特性对结构疲劳寿命将会有较大的影响,此时需要使用振动疲劳分析其寿命。由前面车架的自由模态分析及载荷谱的功率谱密度可知激励的频率涵盖了车架的低阶固有频率,而低阶固有频率恰好对车架的动态性能影响最大,因此本文使用振动疲劳分析其寿命较合理。

5 结论

综合运用各种有限元分析软件及多体动力学软件,建立了完整车架有限元模型及整车刚-柔耦合模型。对车架进行动强度分析及频响分析,结合整车动力学分析结果,估算车架疲劳寿命。得到的车架疲劳寿命为此类重型矿用自卸车的疲劳寿命分析提供了思路及方法,为车架的改进及优化提供了依据。

参 考 文 献

[1] 冯国胜,贾素梅,林昊,等. 55 t 重型自卸车平衡悬架用推力杆断裂分析[J]. 石家庄铁道大学学报:自然科学版,2013,24(6),43-46.

[2] 陈传尧. 疲劳与断裂[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2011:1-16.

[3] 阳清泉,谷正气,米承继,等. SF33900 型矿用自卸车车架疲劳寿命分析[J]. 汽车工程,2012,34(11),1015-1019.

[4] 刘怀银. 矿用自卸车疲劳寿命评估研究[D]. 石家庄:石家庄铁道大学,2014.

[5] 林昊. 重型自卸车有限元分析及改进设计[D]. 石家庄:石家庄铁道大学,2012.

- [6] 惠延波,王宏晓,冯兰芳,等. 基于 MSC. Fatigue 的某轻型客车车架疲劳寿命分析[J]. 郑州大学学报, 2013, 34(1), 87-90.
- [7] 玲桂龙,沈再阳. ANSYS 结构单元与材料应用手册[M]. 北京:清华大学出版社, 2013:269-338.
- [8] 丁能根,马建军. 钢板弹簧迟滞特性有限元分析[J]. 汽车工程, 2003, 25(1):12-14.
- [9] Fancher P S, Ervin R D, MacAdam C C, et al. Measurement and representation of the mechanical properties of truck leaf springs[J]. Society of Automotive Engineer, 1980, 9(5), 2-6.
- [10] 尹辉俊. 重型自卸车车架的有限元分析及其早期断裂原因分析[D]. 武汉:华中科技大学, 2006.
- [11] 王玉涛. 基于模态应力恢复的矿用自卸车车架疲劳寿命研究[D]. 长沙:湖南大学, 2013.
- [12] 李鹏飞,冯国胜,邓晓龙,等. 三维虚拟路面的谐波重构[J]. 汽车工程师, 2014(11), 24-27.
- [13] 刘怀银,冯国胜,高爽,等. 再制造曲轴疲劳寿命分析[J]. 石家庄铁道大学学报:自然科学版, 2014, 27(1):40-44.
- [14] 吴业森,罗时廉. 随机振动[M]. 北京:机械工业出版社, 1985:73-84.
- [15] 周传月,郑红霞,罗慧强,等. MSC. Fatigue 疲劳分析应用与实例[M]. 北京:科学出版社, 2005.

Analysis of Vibration Fatigue Life of Mine Dump Truck Frame

Li Pengfei, Feng Guosheng, Jia Sumei

(School of Mechanical Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: To predict the fatigue life of a triaxial heavy mining dump truck frame, this paper establishes a complete finite element model of the frame in Hypermesh with the use of shell elements, solid elements, beam elements, welding elements, rigid-flexible connection elements and other elements, analyses its strength and then makes the frequency response analysis to obtain the transfer function of the input load between the structural stress. The MNF neutral file of the frame is generated in Nastran, and the vehicle rigid-flexible coupling model is established in ADAMS/CAR to get the load time curve, then it is transferred into frequency domain using FFT, and combined with the result of frequency response, the frame fatigue life is accurately estimated.

Key words: mining dump truck frame; frequency response; vibration fatigue

(上接第 96 页)

Identification of Strata with LVQ Neural Network Based on Shield Tunneling Parameters

Shao Chengmeng

(China Railway 16th Bureau Group Co., Ltd. Beijing 101100, China)

Abstract: Considering the subway projects of NO. 2 line and NO. 4 line in Suzhou, the changing rule of tunneling parameters under different stratum conditions is analyzed. The tunneling parameters include cylinder thrust force, advancing velocity, cutterhead torque, rotating speed of screw conveyor and synchronous grouting quantity. A stratum recognition method based on tunneling parameters of TBM and LVQ neural network is proposed, and a mathematical model with the input of five tunneling parameters and output of stratum coding is built. Each stratum has 100 training samples, and the model error of training samples is limited below 0.1 through 57 step training. Fifty samples are selected for each stratum to test this model, and the overall recognition rate reaches 82.7%.

Key words: shield machine; tunneling parameter; stratum recognition; LVQ neural network