

# 新建铁路路基 改良土动力学试验研究

朱忠林：铁道科学研究院铁道建筑研究所，助理研究员，北京，100081

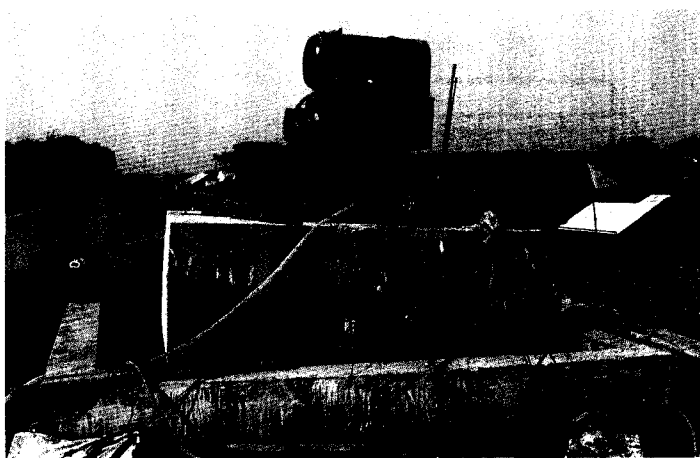
马伟斌：铁道科学研究院铁道建筑研究所，助理研究员，北京，100081

韩自力：铁道科学研究院铁道建筑研究所，研究员，北京，100081

列车速度的提高对线路的稳定性与平顺等技术条件提出了更高、更严格的要求。铁路路基处在大自然中，同时遭受轨道结构荷载、列车荷载和自然荷载的作用，基床部分受列车动荷载和环境荷载的影响较大，从上到下逐渐减弱。路基修筑和列车运营后，地基承受条带状的

**摘要：**针对新建铁路路基床底层填筑中黏土是否需要进行改良以及改良深度的问题，采用现场动载激振试验的研究方法，对基床底层未改良、部分改良、全部改良的基床结构进行动应力、动变形、塑性变形等项目的测试。通过对不同基床底层结构形式的动载模拟试验研究和测试结果的对比分析，得出路基的弹塑性变形、动刚度随激振次数的变化趋势。

**关键词：**新建铁路；路基改良土；动力学；动载试验



分布荷载,随深度增加而逐渐扩散,形成的附加应力逐渐减弱。针对铁路路基载荷的特点,应重点控制在列车和环境作用下路基的整体稳定性、动变形与动刚度以及长期沉降变形等。按照要求,基床表层应采用级配碎石或级配砂砾石等材料,底层采用A、B组填料或改良土。在黏土较多的地区,为降低造价,可对黏土进行改良后用于基床底层填筑。目前国内对改良土的室内物理力学试验进行了研究,但基床底层改良与不改良、在列车动载作用下有何区别,以及基床底层是否全部进行改良等尚未明确。

针对基床底层为黏土时,对其改良选择典型试验段进行实验研究,采用激振试验机模拟列车动荷载,对不同基床底层结构形式,即不同改良工况路基进行动力特性试验研究,通过试验得出新建客运专线经济合理的基床底层改良方案,为设计与施工提供参考。

## 1 改良土试验研究方案

针对基床底层未改良、部分改良、全部改良等不同类型路基,选取典型试验断面施加长期重复动荷载并进行动力学测试,模拟基床的动力特

性及变化规律,研究细粒土填料在基床底层的适用性以及基床底层的最优改良设计方案。

分别在各研究断面埋设加速度计、动土压力盒、位移计及沉降基标等测试元件(见图1)。现场测试全部采用微机自动数据采集系统进行数据采集,观测频率为100万次以内每10万次采集一次,100万次以上每20万次采集一次。动载试验测试设备及元件采用可调频调幅SBZ30动态激振试验机、动态应变仪、激振台、A/D采集卡、动土压盒、位移计、加速度计等传感器,以及自行设计的数据采集和处理系统。采集系统的前端是传感器及动态应变仪。每台动态应变仪有16个通道,每个通道都有自动调零装置、可调放大器和可调滤波器,应变仪输出信号以差分方式输给A/D卡,以提高系统的抗干扰能力。

为了更好地模拟列车动载对基床的影响,调节激振机的激振力、频率和配重,使激振系统与路基耦合振动产生的表面动应力平均值在现场实测范围之内,即50~90 kPa,试验模拟频率范围为10~20 Hz。试验主要通过埋设土压力盒、加速度传感器和沉降板等测试动应力、加速度、动变形

和累积变形在深度上的分布情况。

## 2 改良土路基动力分析

### 2.1 动应力分析

根据不同应力下路基的动应力传递系数,统计出在各应力水平下路基动应力传递系数的平均值,动应力沿路基深度方向的分布曲线见图2。从图2中可以看出,级配碎石基床表层对路基动应力的衰减作用比较明显。动应力在改良土中的衰减速度比在夯填土中要快,且基床底层改良后基床表层的动应力衰减速度增加,即路基中动应力的传递得到显著改善。

### 2.2 加速度分析

在动载作用下,不同层处的加速度能够反映各层振动的强烈程度。试验对路基不同层处的加速度进行了测试,用于分析动载对不同基床底层结构路基的影响情况。加载初期各层加速度变化较大,随着加载次数的增加,改良土基床中各层加速度逐渐减小并趋于稳定,未改良土基床中各层加速度有增加的趋势。

在模拟动载的作用下,3个断面的路基振动情况各不相同,改良土路基的加速度较小,而且沿路基的深度方向衰减较为均匀,对基床表层路基

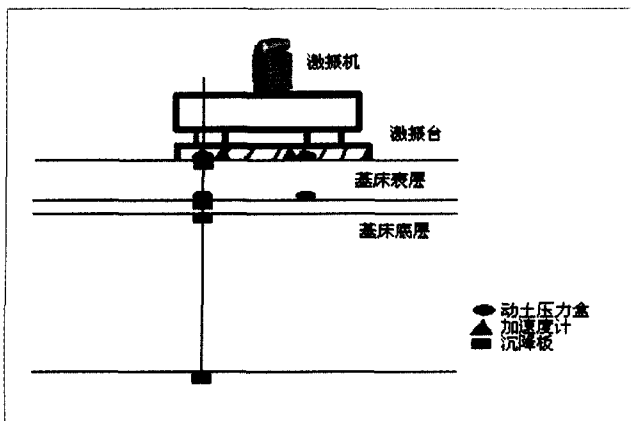


图1 激振元件埋设示意图

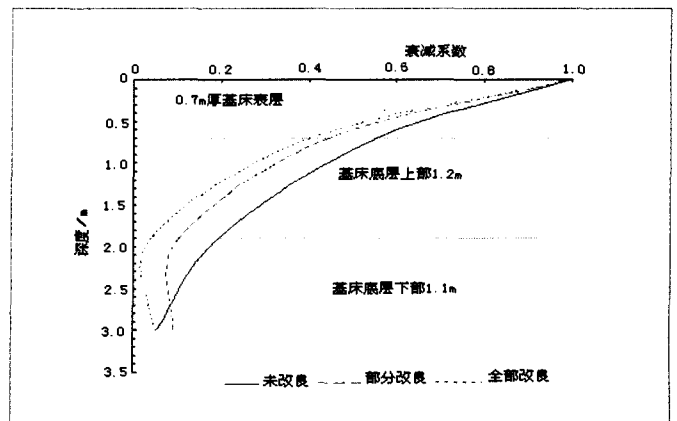


图2 各断面平均衰减系数曲线

振动起到了缓冲作用。夯填土路基中加速度值较大,基床表层没有对加速度起到衰减作用,路基振动得不到缓冲,基床底层填土承受同路基面相同的振动强度,对路基的动态响应极为不利。

### 2.3 基床弹性变形分析

基床弹性变形是影响行车舒适与安全的主要因素之一,是诱发路基破坏或产生病害的直接因素之一,因此控制基床变形对基床设计尤为重要。试验表明,未改良路基的弹性变形主要在基床底层,部分改良路基的弹性变形主要在基床底层下部,全部改良路基的弹性变形主要在基床底层。改良土路基的弹性变形小于未改良路基,说明基床底层的弹性变形与填料有关。

在改良土路基中,试验测得基床底层部分改良土路基的弹性变形小于基床底层全部改良土路基的弹性变形。基床底层全部改良断面在路基面1.9 m以下发生的弹性变形较大,此段路基的基底为液化土地基,采用挤密碎石桩加固,在动载作用下基床下部的弹性变形较大。当基床以下刚度小时,动载影响深度会增大,地基刚度较小使得路基本体处于不良状态,造成基床的弹性变形影响深度相应增加,基床以下地基的弹性变形情况对上层是有影响的。

### 2.4 塑性变形分析

路基顶面的塑性变形主要取决于荷载作用次数。根据已往既有线路调查统计研究资料,对不同基床底层结构形式路基顶面塑性变形进行回归分析,采用经验公式:  $W_p = a + b \ln N$

未改良路基断面:

$$W_p = -0.1539 + 0.4108 \ln N;$$

部分改良路基断面:

$$W_p = -0.0673 + 0.0295 \ln N;$$

全部改良路基断面:

$$W_p = -0.2102 + 0.0863 \ln N.$$

未改良路基基床塑性变形总量为6.39 mm,基床底层全部改良路基塑性变形总量为1.38 mm,基床底层部分改良路基塑性变形较为理想,基床塑性变形总量为0.63 mm。基床塑性变形在加载初期发展较快,加载到100万次时达到稳定。

未改良路基的塑性变形均远大于改良路基,主要发生在基床表层与基床底层上部,说明基床底层改良后路基在动载作用下的塑性变形大幅度减小。改良路基的塑性应变主要分布在基床表层,全部改良路基的塑性变形与部分改良土路基的塑性变形相当,表明基床底层改良深度超过1.2 m后,对塑性变形影响较弱。

### 2.5 综合动刚度分析

路基综合动刚度是路基各层刚度的综合表现,为路基弹性变形性能的指标,能够综合反映路基填筑质量情况。激振系统与路基组成耦合振动体系,按质阻弹理论求出路基综合动刚度,即:  $K_z = P_z / A_z + m\omega^2$ ,路基综合动刚度与动应力关系曲线见图3。从图3可看出,在相同路基动应力水平下,基床底层改良后路基的综合动刚度增加,表明基床底层的刚度对路基综合动刚度影响较大。与未改良路基相比,部分改良土路基综合动刚度增加一倍,全部改良路基综合动刚度增长与部分改良土路基相同。

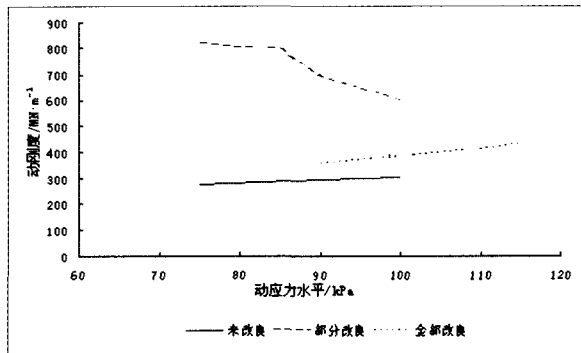


图3 路基综合动刚度与动应力关系曲线

## 4 结论及建议

通过对模拟列车动载作用下基床底层未改良、部分改良、全部改良等不同基床底层结构形式路基进行动力学试验,在刚度、应力、变形等方面做了比较分析,得出以下主要结论:

- (1) 基床底层改良后,基床动应力衰减速度比未改良的衰减速度快;
- (2) 基床底层改良后,基床加速度减小,沿深度方向衰减更均匀;
- (3) 基床底层改良后,基床弹性变形减小,路基的综合动刚度增加;
- (4) 基床底层改良后,基床塑性变形减小,位置由基床底层上移到表层;
- (5) 基床底层改良深度大于1.2 m时,对基床塑性变形、综合刚度增长影响较弱。

综上所述,路基综合动刚度与基床表层、底层、路堤本体的刚度有关,基床底层未改良的基床动力学指标均低于改良土路基,因此在新建铁路基床底层填筑中,对黏土需要进行改良。由动载模拟试验得出的基床底层部分改良路基与全部改良路基的各项动力学试验指标相当,建议可在地基条件较好的情况下,基床底层黏性土的改良深度为1.2 m。

责任编辑 葛化一  
收稿日期 2006-11-21