

高速铁路列车运行振动传播规律研究

周家汉

(中国科学院力学研究所, 北京 100080)

摘要 通过实测既有铁路线快速列车运行的地面振动, 分析了影响地面振动的主要因素, 采用由列车速度、载重量和传播距离组成的比例距离来预测高速列车运行的地面振动, 在广深线上列车速度 160km/h 和 200km/h 的地面振动实测值和预测值十分接近。

关键词 高速列车, 振动

引言

高速铁路以其速度快、运能大、安全、舒适等特点已逐渐被人们接受。京沪高速铁路将是我国建设的第一条高速铁路, 全长 1300 km, 实施全封闭、全立交式的客运专线。铁路设计速度为 300km/h, 基础设施可满足 350 km/h 的速度要求。修建京沪高速铁路将是我国在新世纪前 10 年投资额度较大的项目之一。在要修建高速铁路的京沪铁路沿线人口密度高, 建筑物密集。高速铁路选线需要进行环境综合评价, 选线方案的确定及随之而来的动迁任务是一个十分复杂的社会问题和耗资巨大的经济问题。为了能在既有铁路苏州站处建设高速铁路苏州站, 京沪高速铁路通过虎丘塔处线路在满足高速列车运行速度要求的条件下将要往北移动 200 余米, 高速铁路将比现在的铁路更靠近虎丘塔一些。虎丘塔是国家重点文物保护单位, 是苏州的标志性建筑物。为了确保虎丘塔在高速铁路建成后不受影响, 需要论证高速铁路列车运营振动传播规律, 并对虎丘塔的稳定性影响进行评估。

尽管世界上有不少国家修建了高速铁路, 但有关高速铁路列车运行造成的两侧地面振动的资料很少。本报告在对既有线列车运行地面振动测试的基础上, 提出的采用既有线的列车运行振动传播的规律和“比例距离”预测未来高速铁路列车运行振动的方法在广深线得到了验证。

1 既有铁路列车运营振动的测试

对京沪线苏州段和广深线石龙段(含高架桥)列车运行产生的地面振动进行了测试。测点距离铁路最远点 400m, 记录了 24 小时区段的上下行列车, 客车、货车。在沪宁线, 客车最大速度为 119.5km/h。广深线客车最大速度为 199.7km/h。

把在不同测点测得的不同车速、不同车型的列车通过时的振动速度峰值绘在双对数坐标图中, 看到距离铁路近的地方, 地面振动速度大, 随至铁路距离的增加, 振动速度减小。货车通过时产生的地面振动大于客车, 即使客车运行速度比货车要快。

路堤肩的测点的振动波形反应了列车通过时的最大振动作用, 振动时间较短。在一定距离以外的振动是随着距离 R 增加, 振动速度应近于平面波的衰减, 即有 $v \sim 1/R$ 。当离铁路一定距离以外的地方, 地面振动较小。在京沪线苏州段既有线测试时, 6 号测点距离铁路 358m, 当不同速度的列车通过时其振动速度最大值无多大变化。可见存在着在一定距离以外

的地方,不同列车速度的变化、列车载荷的变化地面振动强度无明显影响。

机车的重量大于列车车厢的重量,单机车头通过时记录的振动波形看到,振动速度大小和列车通过时差别不大,只是作用时间短一些。列车在连续高架桥上运行时,列车运行产生的振动能量被高架桥的运动所吸收,传至地面的能量减少,铁路道旁同样距离的测点测得的振动强度比路堤情况下的要小。

2 铁路振动的传播规律

2.1 铁路振动传播的力学分析

列车运行时,部分能量将转变成地面的振动。列车运行振动是一个移动性线状振源,铁路振动是一类在观测时间内振幅变化不大的环境振动,一种稳态振动。这里,我们关心的是考察地段的振动强度峰值,分析影响地面振动大小的因素,可以用下式表示

$$v = f(P, V, N, \rho, E, R, L, \alpha, \beta)$$

其中: v 为地面振动速度 mm/s, P 为列车轴动载荷 t/m, V 为列车速度 km/h, N 为列车车辆数, ρ 为地层介质密度 g/cm³, E 为介质的弹性模量 MPa, R 为至观察点的距离 m, L 为车厢长(或轮距), α 为地形、地质构造因素系数, β 为轨道摩擦、路基或桥体的吸收系数。 N, α, β 为无量纲参数。采用无量纲参数进行量纲分析,上式可写成

$$\frac{v}{c} = f\left(\frac{P}{EL^2}, \frac{R}{L}, \frac{V}{(E/\rho)^{1/2}}\right) \quad (1)$$

采用无量纲参数组合,我们可得到下式

$$v = f\left(\frac{PV}{cER^2}\right) \quad (2)$$

影响地面振动强度的主要因素是:列车轴动载荷 P , 距离 R , 列车速度 V 。随着列车载重量的增加,地面振动强度增大,重载货车作用下的路基地面的振动强度大;地面振动速度大小与列车速度有关,列车速度高,对地面振动影响也大;随着距离的增加,振动强度减弱,距离越远振动速度越小,随着至铁路的距离的平方关系而减少。可见距离的远近比列车速度或载重量的大小不同对造成地面振动的影响大。

2.2 比例距离

通过实测数据整理分析,可将 $v = f(PV/cER^2)$ 改写成

$$v = K(R/(PV))^{1/2\alpha} \quad (3)$$

$R/(PV)^{1/2}$ 称作比例距离 R_i , K, α 为衰减常数,上式可简化成 $v = K(R_i)^\alpha$ 。

若以比例距离描述振动速度的衰减时,在 $v-R_i$ 图中,对于普通快速列车(110km/h)的比例距离 R_i 是原距离坐标 R 。高速列车的比例距离 R_i 要比普通快速列车(110km/h)的坐标 R 向右移动 $((PV)_i / (PV)_1)^{1/2}$ 。

2.3 列车在高架桥运行时的地面振动

京沪高速铁路将在不少路段采用高架桥设计方案。高架桥本身是一减振系统。列车运行振动能量激起轨道、桥梁和桥墩的振动，梁和墩的振动吸收了能量，列车运行振动传到地面时，振动强度明显减小。分析实测列车经过路堤和高架桥时的地面振动的变化，在高架桥外相应距离处地面振动速度峰值仅为路堤条件时的1/2。

3 高速铁路列车运行振动衰减规律

既有线快速列车运行平均速度为110km/h，根据对既有线实测的地面振动衰减规律，采用由高速列车速度、列车重量和距离组成的比例距离 R_i ，考虑高架桥和路堤的衰减比，我们可以推算京沪高速列车运行时的地面振动速度衰减规律。

图1是以广深线上快速列车速度110km/h的地面振动衰减规律为基础，采用比例距离预测列车速度160km/h的计算值和实测值的比较，其实测地面振动速度值和计算值十分接近。图2是推测列车速度为200km/h时的路堤或高架桥地面振动的计算值和与实测值的比较。

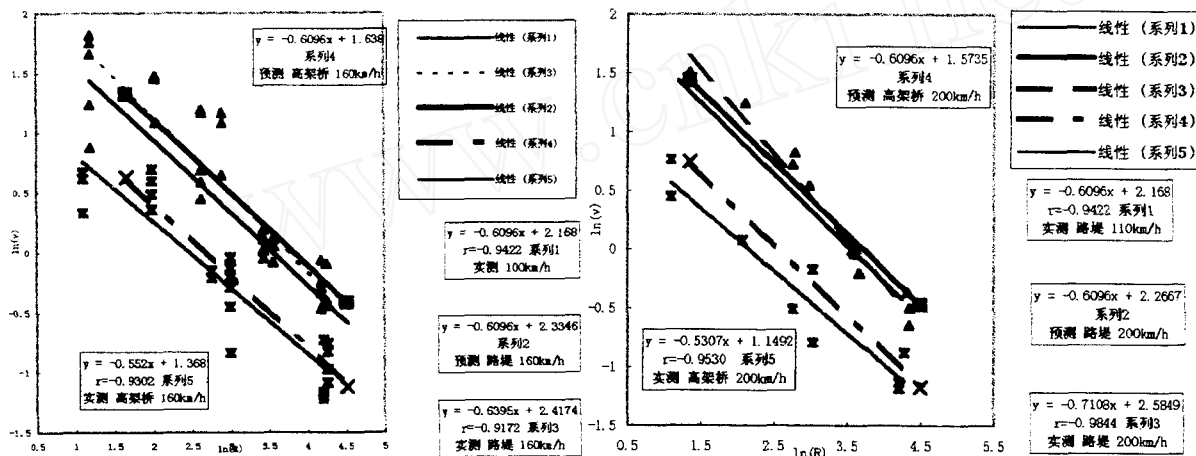


图1 广深线预测列车速度160km/h路堤和高架桥振动合速度和实测值比较

图2 广深线预测列车速度200km/h路堤和高架桥振动合速度和实测值比较

对拟将修建的京沪高速铁路在苏州段采用高架桥结构设计，采用比例距离预测高速列车速度为300km/h的地面振动传播规律。当为满足高速列车运行需要高速铁路选线距离虎丘塔要比既有线近200m，预测高速列车运行在虎丘塔处的振动仍和现在的环境振动状况一样。

参 考 文 献 (略)