

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2013.S2.035

桥建合一车站列车振动舒适度评价方法研究

刘海鑫¹, 李辉¹, 康军立², 杜乔²

(1. 江苏省交通规划设计院股份有限公司 南京 210005; 2. 西南交通大学土木工程学院 成都 610031)

摘要:针对铁路和城市轨道交通列车运行给桥建合一车站带来的振动舒适度问题,总结了目前振动对建筑舒适度分析和评价的基本方法和标准,探讨了桥建合一车站列车振动候车舒适度的分析和评价方法。以某桥建合一客运站为例,采用加速度振动级方法,根据《城市区域环境振动标准》对其振动舒适度进行分析和评价,所采用的基于国家标准的评价方法可供同类车站分析与评价参考。

关键词:桥建合一;振动;动力响应;加速度振动级;舒适度

中图分类号:U270.38 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2013)S2-0136-04

The Evaluation Method of Vibration Comfortable Level in Bridge-Architecture Composite Station

Liu Haixin¹, Li Hui², XuTunfei², Kang Junli², Du Qiao²

(1. The Institute of Communication Planning and Design of Jiangsu Province, Nanjing 210005, P. R. China;

2. School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, P. R. China)

Abstract: To solve the problem of comfortable level on vehicle vibration in railway station, this article summarizes current building comfortable level analysis and evaluation standards and methods, and the comfortable level of railway station is discussed. According to the Standard of City Region Environmental Vibration, some bridge-station combined structure is taken as an example, the standard scale of acceleration vibration is used to evaluate the comfortable level of the railway station. The methods and evaluation process provided in this article can serve as an reference.

Key words: bridge-architecture composite structure; vibration; dynamic response; acceleration vibration level; comfort

随着中国铁路和城市轨道交通的迅速发展,为有效地利用轨道上下空间,节约土地占用和投资,方便旅客换乘,桥梁与房屋建筑结构组合的“桥建合一”形式的高架车站被广泛采用。但该类车站列车制动启动和通过均会给车站结构带来一定的振动,这些振动虽然不足以使结构出现安全性问题,但是直接影响旅客的候车舒适性。因此对“桥建合一”车站(特别是大型客运站)的振动候车舒适性进行分析和评价,有效地将振动的水平控制在可接受的水平十分必要。

由于列车运动对建筑物振动的影响是一个复杂的过程,列车对桥梁的振动影响以及人行等对大型客运站楼盖的振动均有相应的研究成果,但是关于列车车辆-桥建合一车站结构的动力相互作用的研究还不多。另外,中国除《住宅建筑室内振动限值及其测量方法标准》GB/T 50355—2005外,尚无其它振动引起的建筑结构舒适度评价的标准,其它建筑通常参考不具约束力的国际标准 ISO2631 的相关指标进行评价。对于近年来兴起的“桥建合一”车站结构列车振动对候车舒适性的分析和评价目前也没有统一的方法和标准。本文讨论了振动舒适度评价的基本方法,并应用国家标准《城市区域环境振动标准》GB 10070—88 中的相应限值对车站进行列车振动舒适性进行评价。

1 振动舒适度评价标准与方法

振动舒适度,是指人在振动环境中的舒适程度,是对人的主观感受通过某种原则进行量化的结果。从各个时期和各国的规范、标准可以看出舒适度评价标准比较复杂,评价方式也很多。

1.1 振动舒适度评价研究

振动对人的影响由来已久,最早对人的振动舒适度进行系统性研究是德国的 Reier 和 Meister 1931 年进行的试验室研究,他们通过实验对人在不同振动强度下的感受进行了分级,得到后来在相当长时间内被广泛认可的五级舒适度评价曲线。在这项研究中,要求 10 个实验对象用“不能感觉”、“微微感觉到”、“容易感觉到”、“强烈感觉到”、“不舒适、长时间振动可能会导致危险”、“很不舒适、短时一分钟内会感到危险”,等 6 个主观判断来描述自己对振动的感受,能感觉到的振动的低限“微微感觉到”常常被用来作为区分建筑物中可以接受和不可接受的振动的分界线。Reier 和 Meister 的研究结果在很多方面还有疑问,然而这项研究的重要意义不在于其数据的精确性,而在于其研究时间早、并提供了对振动反应的一般描述并得到了振动舒适度频率效应的近似规律。

收稿日期:2013-09-30

作者简介:刘海鑫,男,高级工程师,主要从事道路、桥梁、建筑、铁道等设计研究,(E-mail)723223682@qq.com。

在随后的时间里,美、德、英等国家的学者先后进行了大量的实验室实验和现场实测。Griffin 在他的著作中系统的总结了美、德、英等国家学者在实验室实验和现场测试等方面取得的成果,Nawayseh 等通过人体主观反应实验,研究了振动的幅值、频率成分及振动方向等因素对站立姿势人舒适度的影响。这些成果逐步体现到一系列国家标准和国际标准中,如英国国家标准局发布的 BS 系列标准、德国的 DIN 系列和 VDI 系列标准,ISO 系列标准等。

在中国,建筑结构振动舒适度问题长期以来没有引起太多重视,随着我国社会和经济的发展,结构振动舒适度问题越来越受到关注。国内学者近年来在振动舒适度的研究上也做了大量工作,取得了一定的成绩,对个别大型建筑进行了舒适度分析和评价。

1.2 振动舒适度的评价方法

1939 年的德国标准 DIN4150 对 Reihe: 和 Meister 的研究成果进行了深化,给出了一组详细的振动舒适度等值线,并用 PAL 来定义不同的振动舒适度水平,

$$PALs = 10 \lg \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 \quad (1)$$

其中 V 是峰值速度; V_0 是参考振动速度的振幅, V_0 的取值为 0.4 mm/s , PAL 等于 40 是“不舒服”、PAL 等于 20 是“强烈感觉到”、PAL 等于 10 是“能感觉到”,而 PAL 等于 5 是“刚好能感觉到”,PAL 等于 0 为振感限值。

1958 年德国的 Dieckmann 在心理物理学研究和主观方法研究的基础上给出了 K 值法:

对于竖向振动:

$$K = Xf^2, 0.5 \leq f \leq 5 \quad (2a)$$

$$K = 5Xf, 5 \leq f \leq 40 \quad (2b)$$

$$K = 200X, 40 \leq f \leq 100 \quad (2c)$$

对于水平振动:

$$K = 2Xf^2, 0.2 \leq f \leq 2 \quad (3a)$$

$$K = 4Xf, 2 \leq f \leq 25 \quad (3b)$$

$$K = 100X, 25 \leq f \leq 100 \quad (3c)$$

其中 X 是峰值位移, mm ; f 是频率, Hz 。该标准给出的振感

阈限在 $K = 0.1$ 处,而另一个极端“感觉振动无法忍受”即 1 min 振动可耐限度为 $K = 100$ 。 K 值方法被用在后来的 DIN4025 中,在 DIN4025 中, $K = 0.1$ 对应了振感阈限, $K = 0.1 \sim 0.3$ 之间的值分别定义为“刚好感觉到”、“容易感觉到”、“略不舒服”几种不同的主观感受。德国工程师联合会基于 Dieckmann 的研究于 1963 年发布了人体振动舒适度标准,并不断更新,历经 VDI 2057(1963), DIN4150, DIN4150(1985)。

国际标准 ISO2631(全身振动暴露度评价指南)用于评价交通工具和机器附近的振动。这个标准同时建议建筑物可接受的振动限值在振感阈限附近,而给出的振感阈限为 0.01 mms^{-2} ,与标准中给出的“暴露限”,“疲劳工效降低限”,“舒适度降低限”一样随振动频率而变化。对于站姿和坐姿, 0.0 mms^{-2} 分别适用于竖向振动(频率范围 $4 \sim 8 \text{ Hz}$)和水平振动(频率范围 $1 \sim 2 \text{ Hz}$),在该频率范围以外,需要使用更高的阈限。

国际标准 ISO2631-1(1985)、美国国家标准《人承受建筑物内振动评价指标》(ANSIS 329)、日本国家标准《振动限制法》(1976)与中国标准《城市区域环境振动标准》(GB 10070-88)、《住宅建筑室内振动限值及其测量方法标准》(GB/T50355-2005)中均采用加速度振动级的方法来评估舒适度指标。

1.3 中国规范的振动舒适度评价

我国《城市区域环境振动标准》(GB 10070-88)采用了 ISO2631 给出的频率计权,并参考德国标准给出了不同区域的容许限值,如表 1 所示。该标准采用分贝(dB)作为评价指标,即

$$VL_z = 20 \lg \left(\frac{a_{rms}}{a_0} \right) \quad (4)$$

其中, a_0 为参考加速度,取值为 10^{-6} ms^{-2} ; a_{rms} 为振动加速度有效值, ms^{-2} 。 a_{rms} 需根据加速度时程 $a(t)$ 计算得到。

对加速度时程 $a(t)$ 进行频域分析,可以得到加速度时程的自功率谱密度函数(单边谱) $G_a(f)$ 。然后根据 $G_a(f)$ 计算振动加速度有效值 a_{rms} ,进而计算振级,并于规范提供的振级限值做比较,进行舒适性评价。

表 1 《城市区域环境振动标准》给出的 VLZ(dB)限值

使用地带范围	昼间	夜间	使用地带范围的划定
特殊住宅区	65	65	特别需要安宁的住宅区
居民、文教区	70	67	纯居民和文教、机关区
混合区、商业中心区	75	72	一般工业、商业、少量交通与居民混合区
工业集中区	75	72	一个城市或趋于内规划明确规定的工业区
交通干线道路两侧	75	72	车流量每小时 100 辆以上的道路两侧区域
铁路干线两侧	80	80	每日车流量不少于 20 列的铁道外轨 30 m 外两侧

振动加速度有效值的计算主要有 3 种方法:采用离散加权因子计算总加权加速度均方根值、采用连续加权函数计算总加权加速度均方根值、等效连续均方根值。本文选取连续加权函数计算总加权加速度均方根值,加权加速度均方根可以表示为

$$a'_{ms} = \left[\int_{0.89}^{90} W^2(f) G_a(f) df \right]^{1/2} = \left[\sum_{i=1}^n W^2(f_i) G_a(f_i) \delta f \right]^{1/2} \quad (5)$$

其中 $W(f)$ 为频率加权函数,其表达式为

$$Z \text{ 轴向: } W(f) = \begin{cases} 0.5\sqrt{f}, & 0.89 < f \leq 4 \\ 1.0, & 4 < f \leq 8 \\ 8/f, & 8 < f \leq 90 \end{cases} \quad (6a)$$

$$X, Y \text{ 轴向: } W(f) = \begin{cases} 1.0, & 0.89 < f \leq 2 \\ 2/f, & 2 < f \end{cases} \quad (6b)$$

中国标准《住宅建筑室内振动限值及其测量方法标准》(GB/T 50355—2005)规定了住宅建筑室内的铅垂向振动加速度级(La)应符合规定值。我国除住宅外尚无其它公共建筑室内振动限值的标准和相关规定,因此只有参照《城市区域环境振动标准》(GB 10070—88)的相应限值规定,采用加速度振动级来评价列车振动对候车舒适度的影响。

2 实例分析

2.1 项目概况

某大型桥建合一铁路高架车站,南北横跨 26 条铁路线,其中正线 4 条,到发线 22 条。主站房南北长约 364 m,东向宽约 170 m,地上主要部分共两层(局部有夹层和错层),第一层为站台层标高 8.8 m,第二层为候车厅标高 20.8 m,屋顶标高 47.6 m。为降低高速列车通过对候车厅振动的影响,在正线轨道和到发线轨道间设置了结构缝,从而有效控制高速列车对建筑物振动的直接影响。设缝后铁路正线将站房候车区南北划分为 3 个相对独立的区域 A、B、C。

2.2 列车车辆—桥建合一车站结构动力分析

根据秦沈客运专线综合试验已有成果,建立列车车辆模型和相应列车激励。根据现有建筑结构规范,采用 ANSYS 通用有限元软件建立车站整体有限元模型。

铁路正线将站房划分为 A、B、C,3 个结构相对独立的区域。A 区域中有到发线 7 条,B 区域中有到发线 10 条,C 区域中有到发线 5 条。A 区域中轨道以次命名为 1~7 号。根据《城市区域环境振动标准》(GB 10070—88)中监测点在建筑物室外 0.5 m 以内振动敏感处,必要时测量点置于建筑物室内地面中央的规定,选取 A 区域中候车厅地面中央为加速度监测点,命名为 A1。车站轨道较多,完全的理论工况组合数量巨大,且受篇幅限制,本文仅就 A 区域为例,选取了每条轨道单独制动和启动,共计 14 个单轨激励工况。根据单轨激励的分析结果,发现本区域内轨道主要影响本区域监测点,对其他区域监测点影响很小的特点,选取了 2 个不利工况组合,详见表 1。

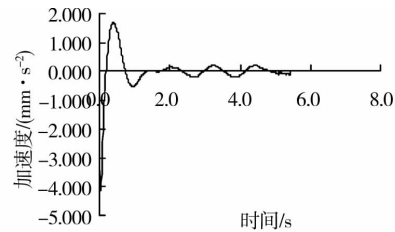
表 1 分析工况与说明

编号	工况说明	监测点	编号	工况说明	监测点
1~7	1~7 号线制动	A1	15	1~4 启动 5~7 制动	A1
7~14	1~7 号线启动	A1	16	1~4 制动 5~7 启动	A1

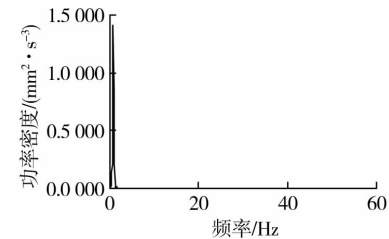
利用 Block Lanczos 方法计算了车站整体的动力特性,按列车车辆和桥建合一车站耦合动力相互作用分析计算出工况 1~14 每条轨道列车单轨道激励和不利组合工况 15、16 下,监测点 A1 的时程响应与自功率谱结果。受篇幅限制,本文仅列出组合工况 15 条件下,A1 监测点 X 向的计算结果。

2.3 候车舒适度评价

根据上述分析结果计算出不同工况下监测点的加速度



工况 15 下 A1 点的加速度时程(X 方向)



工况 15 下 A1 点自功率谱密度函数(X 方向)

振级指标,根据《城市区域环境振动标准》铁路干线两侧限值为 80 dB 的规定,进行车站的候车舒适度评价。受篇幅限制,表 3 仅列出了 2 个不利组合工况条件下各监测点加速度振级指标。

表 3 监测点加速度振级指标

表 3 监测点加速度振级指标						dB	
工况	A1	B1	C1	工况	A1	B1	C1
15	56.02			16	66.45		

综合各不利组合工况的舒适性分析结果,候车厅监测点 A1 的最大分贝值为 66.45 dB;小于标准限值 80 dB,满足舒适度要求,同样通过相应的计算可以评价其它区域的候车舒适度,这里就不再一一赘述。

3 结论

虽然分析结果表明列车运营对候车舒适度的影响满足标准要求,但其加速度振级指标与标准限值已比较接近。因此对于大型“桥建合一”车站即使强度与变形满足规范要求,楼盖候车舒适度也有可能不满足使用要求,有必要进行候车舒适度的分析和评价。经算例分析,所采用的基于国家标准的加速度振动级舒适度评价方法,依据的限值明确规定有一定的约束力,实用性强,可供同类车站分析与评价参考。

由于列车运营对“桥建合一”车站的影响是个十分复杂的问题,本文也仅探讨和试算了到发线列车的直接震动影响,并没有考虑正线列车高速通过等对车站的间接震动影响,所采用的《城市区域环境振动标准》(GB 10070—88)的规定限值,也针对轨道两侧并不是直接根据“桥建合一”车站提出的,因此尚有不完善的地方。

随着轨道交通的快速发展,中国已建和在建的同类车站越来越多。建议有关方面组织力量对“桥建合一”车站列车振动的候车舒适性评价进行进一步的研究,收集和实测相关数据,总结有效隔振和减振措施,制定公共建筑特别是“桥建合一”车站的振动限值及其测量方法标准,为列车振动对候车舒适性的分析和评价提供依据。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家环境保护局. GB 10070—88 城市区域环境振动标准[S]. 北京:中国标准出版社, 1989.
- [2] 西南交通大学, 中国中铁二院工程集团有限责任公司. 合肥南站列车动载作用下候车舒适度及结构安全研究报告[R]. 成都:西南交通大学.
- [3] 何浩祥, 闫维明. 竖向环境振动下人与结构相互作用及舒适度研究[J]. 振动工程学报, 2008, 21(5): 446-451.
- [4] 盛平, 王铁. 大型站桥合一客站建筑的舒适度研究[J]. 建筑结构, 2009, 39(12): 43-45.
- [5] 梅正君, 朱家文. 振动对建筑物安全与室内环境影响的评价[J]. 住宅科技, 2011, 39(1): 25-27.
- [6] 颜锋, 钱基宏. 武汉火车站高速列车对建筑结构的振动影响研究[J]. 建筑结构, 2009, 39(1): 25-27.
- [7] 周德良, 李爱群. 长沙南站大跨度候车厅楼盖竖向舒适度分析与检测[J]. 建筑结构, 2011(Sup4): 167-169.
- [8] 张晓春, 张辰辰. 地铁列车振动对临近建筑内人体舒适度的影响研究[J]. 中国矿业大学学报, 2009, 38(6): 836-840.

(编辑 王秀玲)

(上接第 135 页)

代入莫尔-库仑极限平衡方程, 得到临界状态时的 σ_3 , 而 $\sigma_r < \sigma_3$, 即此时溶洞内壁土体会发生不可逆的塑性破坏。由此可见: 由于地下水的下降, 改变了溶洞周围土体的应力状态, 导致溶洞土体周围土体发生不可逆的塑性破坏, 进而引起岩溶塌陷的发生。

3 结论

经过以上建模分析以及举例验证, 发现地下水的水位频繁变化引起的灰岩上覆黏性土层的塑性破坏是岩溶塌陷发生的主要诱因^[4], 同时, 岩溶塌陷是灰岩地区生态环境破坏的主要表现形式。据此, 防治或修复灰岩地区生态环境破坏的首要措施是控制地下水的频繁升降, 具体到人类的活动方面, 就是控制人们包括工业、农业及生产生活方面对地下水的过量开采和使用。根据笔者对湖南西部区域多个灰岩分布区的调查和走访来看, 为避免岩溶塌陷的发生, 很多地区的居民生活用水采用自来水, 或在居民聚集区附近的山间搜集下降泉进行净化后作为生活用水, 农田灌溉方面利用水库

搜集储存地表水, 尽量少采取地下水; 只有这样, 才能保持一定区域的地下水在一个相对稳定是水位, 避免其快速升降, 从而避免破坏生态环境的岩溶塌陷的发生, 保证居民的生命财产安全, 以期达到人与生态环境的和谐相处, 让“美丽中国”的愿景早日变成现实。

参考文献:

- [1] 刘之葵, 梁金城. 岩溶区溶洞及土洞对建筑地基的影响[M]. 北京:地质出版社, 2006.
- [2] 姚军, 陈学军, 曾宪斌, 等. 废弃矿区岩溶塌陷发生中地下水作用研究[J]. 中国水运:学术版, 2007, 7(4): 112-113.
- [3] 刘之葵, 梁金城, 周健红. 岩溶区土洞发育机制的分析[J]. 工程地质学报, 2004, 12(1): 45-49.
- [4] 官昆峰. 浅谈岩溶地区地面塌陷及处理[J]. 岩土工程界, 2004, 7(12): 56-58.

(编辑 詹燕平)