

doi:10.3969/j.issn.1672-6073.2012.06.025

城市轨道交通双线桥上无缝线路挠曲力研究

王冬梅¹ 倪向阳² 王慧琚²

(1. 青岛理工大学汽车与交通学院 青岛 266033; 2. 青岛市地下铁道公司 青岛 266071)

摘 要 针对城市轨道交通中新应用的双线 U 型梁和传统的双线箱型梁两种不同形式桥梁,用有限元法计算分析桥上无缝线路附加挠曲力及附加挠曲位移的分布,着重研究线路纵向阻力、桥梁跨度和桥墩刚度等参数变化对桥上无缝线路钢轨受力、桥墩受力及桥梁挠度的影响。研究结果表明,线路纵向阻力、桥梁跨度对钢轨挠曲力的影响较大,而桥墩纵向刚度对钢轨挠曲力的影响较小,为城市轨道交通设计提供理论参考依据。

关键词 城市轨道交通;双线桥;无缝线路;挠曲力;U 型梁

中图分类号 U213.91 **文献标志码** A
文章编号 1672-6073(2012)06-0096-04

高架桥作为地铁的一种线路敷设方式,其工程造价较低、施工速度快、适应线路线型的能力强,在国内外的地铁建设中发展很快并得到大量采用。在国外,如荷兰、法国、新加坡等地的地铁中都存在高架区段,国内北京、天津、上海、广州、深圳等城市也采用了部分高架线路。作为地面建筑,轨道交通高架桥不仅要满足轨道交通所需要的结构要求以及功能要求,同时也影响着行人的视线和感官。

在城市轨道交通高架桥上铺设了大量的无缝线路。由于高架线路桥梁结构的变化必然影响到无缝线路轨道结构的受力情况,因此,为了轨道交通在高架线路上安全平稳地运营,必然要对城市轨道交通桥上的无缝线路挠曲力做深入研究。

笔者针对双线 U 型梁和传统的双线箱型梁两种不同形式桥梁,建立了轨道-桥梁一体化力学有限元模型,

并借用 ANSYS 有限元软件进行了钢轨受力、桥墩受力及桥梁挠度等方面的计算和分析,从而得出了两种形式双线桥梁的不同受力和变形,以便为今后城市轨道交通高架结构的桥型设计提供理论参考依据。

1 模型建立及参数选取

1.1 轨道-桥梁一体化模型的建立

要对梁轨相互作用进行有限元分析,必须建立适合有限元计算的梁轨相互作用模型。桥上无缝线路是一个非常复杂的力学系统,钢轨、桥梁、墩台和桥梁两端的轨道之间相互制约、相互协调,要进行精确的模拟是非常困难的,必须通过一定的简化处理。笔者将轨道、桥梁及其墩台作为一个整体来考虑,建立了桥上无缝线路纵向附加力的全桥有限元计算模型。这样可以比较全面地反映梁、轨间的相互作用,使计算结果更加准确,也更具实用价值。

根据梁轨相互作用原理,针对双线桥上无缝线路需要研究的问题,依据实际城市轨道交通中的北京某双线简支箱型和智利圣地亚哥 4 号线双线 U 型梁桥,建立如图 1 所示的力学分析模型。

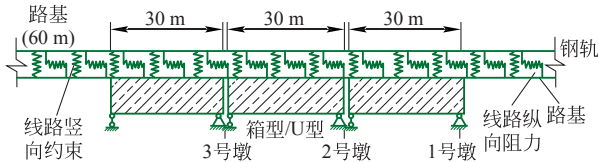


图 1 双线简支箱型、U 型梁桥无缝线路的力学分析模型

将钢轨视为连续弹性点支撑上的 Bernoulli-Euler 梁,以 Beam188 三维梁单元来模拟;线路纵向约束考虑成非线性弹簧-阻尼单元(Combin39);线路纵向约束、桥墩纵向约束均考虑成线性弹簧-阻尼单元(Combin14);混凝土桥梁以实体单元(Solid45)进行处

收稿日期: 2011-11-21 修回日期: 2012-02-14

作者简介: 王冬梅,女,讲师,从事交通运输研究,sdxuzhen@163.com

理,选择使用正六面体网格并使用 Ansys 中的映射功能对实体进行单元划分。此外,在桥梁两端的路基上分别建立 60 m 的轨道结构,以满足边界条件的处理。

1.2 计算参数的选取

1) 60 kg/m 的钢轨。横截面面积 77.45 cm²,竖向惯性矩 3.217 × 10⁻⁵ m⁴,水平惯性矩 5.24 × 10⁻⁶ m⁴,泊松比 0.3,弹性模量 *E* 为 2.06 × 1 011 N/m²,密度 ρ 为 7 830 kg/m³,热膨胀系数 11.8 × 10⁻⁶/℃。

2) 钢轨扣件。竖向刚度为 3.3 × 10⁷ N/m;桥上无砟轨道轨面无载时,纵向阻力取 70 N/cm;轨面有载时,机车和车辆下纵向阻力取 110 N/cm。

3) 桥梁。双线 30 m 混凝土桥梁,断面采用当前某地铁线路已经应用的断面(见图 2~图 3),泊松比 0.2,弹性模量 *E* 为 3.45 × 1 010 N/m²,密度 2 500 kg/m³,热膨胀系数 1 × 10⁻⁵/℃。

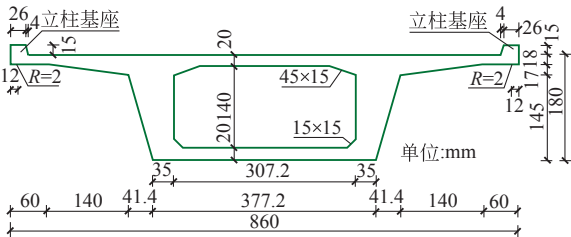


图 2 双线箱型梁横断面

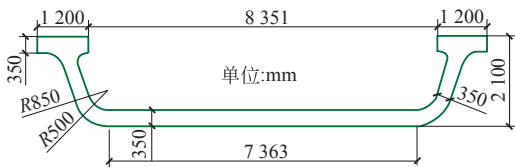


图 3 双线 U 型梁横断面

4) 桥墩纵向水平刚度。我国 GB 50157—2003《地铁设计规范》规定,采用无缝线路的区间简支梁高架结构桥墩墩顶纵向水平刚度应满足表 1 的要求,单线桥梁桥墩墩顶纵向水平刚度取表中值的 1/2。

表 1 桥墩墩顶纵向水平线刚度(双线)

跨度 <i>L</i> /m	最小水平刚度/(kN/cm)	附注
<i>L</i> ≤20	240	不设钢轨伸缩调解器
20 < <i>L</i> ≤30	320	不设钢轨伸缩调解器
30 < <i>L</i> ≤40	400	不设钢轨伸缩调解器

桥墩纵向水平刚度选取 320 kN/cm,竖向刚度取 1 000 kN/mm。

5) 竖向荷载。为了简化计算,统一采用均布荷载进行研究。对于我国现状,计算荷载按大部分城市轨道交通线路所选的地铁 B 型车荷载,采用 6 节车辆编组,荷载长度为 19.5 × 6 = 117 m,折合每延米轴重 28.07 kN/m^[1]。建成后的三维轨道-桥梁一体化模型如图 4 所示。

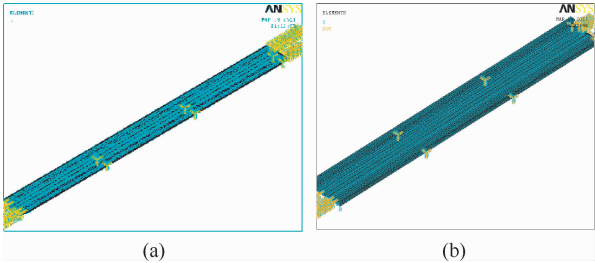


图 4 轨道-桥梁一体化模型

2 桥上无缝线路挠曲附加力分析

当列车荷载进入桥梁上时,梁便产生纵向位移,梁位移带动轨枕、扣件位移,扣件对长钢轨施加纵向力会引起长钢轨变形,因而使梁轨间产生相对位移。梁轨互制而产生纵向力,称为挠曲附加力^[2]。

通过对列车在桥上运行的所有工况进行分析,最不利荷载位置如图 5 所示。

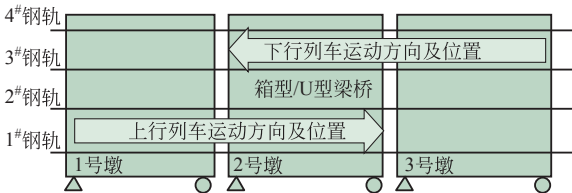


图 5 列车最不利荷载工况

计算箱型梁在最不利荷载位置时的钢轨受力及其梁轨位移如图 6 所示,U 型梁在最不利荷载位置时的钢轨受力及其梁轨位移如图 7 所示。

由图 6 可知,箱型梁的钢轨最大挠曲压力为 99 kN,最大挠曲拉力为 99 kN。此时,桥墩受力为 111 kN,梁最大挠度为 20.5 mm。

由图 7 可知,U 型梁的钢轨最大挠曲压力为 80 kN,最大挠曲拉力为 61 kN。此时,桥墩受力为 63 kN,梁最大挠度为 17.1 mm。

3 附加挠曲力影响分析

前人的研究表明,影响桥上无缝线路挠曲力的因素包括线路的纵向阻力、桥梁的跨度和跨数、桥墩刚度及支座的布置、钢轨类型、运行工况等等,国内外已经进行了大量的研究。但是,对城市轨道交通桥上无缝线路

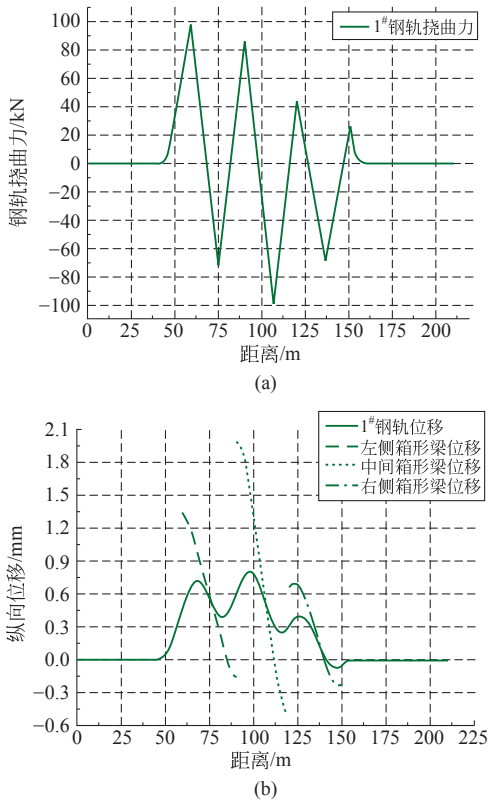


图6 箱型梁桥上钢轨受力及梁轨位移情况

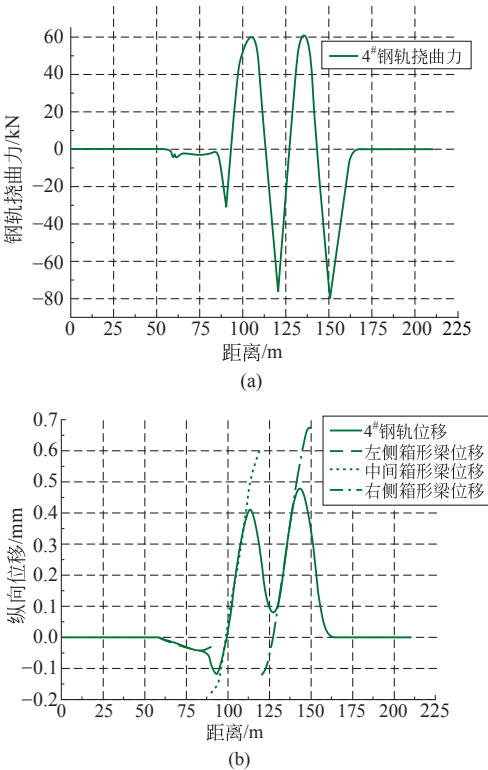


图7 U型梁桥上钢轨受力及梁轨位移情况

的研究还不够深入,因此下面从线路纵向阻力、桥梁跨度和桥墩刚度等方面对挠曲力的影响做进一步研究。

3.1 线路纵向阻力对挠曲力的影响

3跨30 m双线简支梁桥,采用不同纵向阻力计算得到钢轨所受挠曲力的最大值和桥墩纵向力的最大值,如表2所示。

表2 不同线路纵向阻力对钢轨挠曲力的影响

线路纵向阻力/ (N/cm/轨)	钢轨最大 拉力/kN	钢轨最大 压力/kN	最大桥墩纵 向力/kN
100	92(60)	89(75)	110(70)
125	109(61)	110(87)	112(72)
150	126(61)	129(101)	114(76)
175	143(61)	149(110)	116(78)
200	158(61)	167(120)	118(80)

注:()中数值为U型梁时的受力情况。

由表2可知,改变线路纵向阻力时,箱型梁钢轨挠曲附加力变化幅度较大,桥墩受力变化幅度较小;U型梁钢轨挠曲附加压力变化幅度较大,挠曲附加拉力基本不变,桥墩受力变化幅度较小。

3.2 桥梁跨度对挠曲力的影响

就标准段高架桥来说,根据国内北京、上海、天津、广州、大连等城市已建成和正在建设的轨道交通高架桥来看,大多采用跨度长度为25、30或者35 m的梁。下面分别选取3跨25 m、3跨30 m、3跨35 m的3种简支梁进行分析,表3为采用不同桥梁跨度计算得到的钢轨所受挠曲力最大值和桥墩纵向力最大值。

表3 不同桥梁跨度挠曲力的计算结果

桥梁跨 度/m	钢轨最大 拉力/kN	钢轨最大 压力/kN	最大桥墩纵 向力/kN	挠度/mm
25	78(43)	85(62)	71(47)	10.7(12.0)
30	99(61)	99(80)	111(63)	20.5(17.1)
35	120(83)	115(107)	150(90)	31.0(25.7)

注:()中数值为U型梁时的受力情况。

由表3可知,当改变桥梁跨度时,箱型梁钢轨挠曲附加力变化幅度较大,桥墩受力变化幅度较大,挠度变化也较大;U型梁钢轨挠曲附加力变化幅度较大,桥墩受力变化幅度较小,挠度变化幅度也较小。

3.3 桥墩刚度对挠曲力的影响

由于桥梁墩台是桥梁结构的基础部分,支撑梁体及上部结构,是城市轨道交通桥梁的主要受力部件,也是影响钢轨纵向力的重要因素,因此在钢轨纵向附加力的计算中发挥重要作用。3跨30 m简支梁桥采用桥墩不同纵向刚度计算得到钢轨所受挠曲力最大值和桥墩纵向力最大值如表4所示。

表 4 桥墩不同纵向刚度挠曲力的计算结果

桥墩纵向刚度 /(kN/cm/线)	钢轨最大 拉力/kN	钢轨最大 压力/kN	最大桥墩 纵向力/kN
200	92(61)	96(77)	74(50)
300	98(61)	98(79)	106(67)
400	102(61)	97(81)	128(79)
500	105(61)	97(83)	148(90)

注:()中数值为 U 型梁时的受力情况。

由表 4 可知,当改变桥墩纵向刚度时,箱型梁钢轨挠曲附加力变化幅度较小,桥墩受力变化幅度较大;U 型梁钢轨挠曲附加力变化幅度较小,桥墩受力变化幅度较大。

4 结论

1) 双线简支梁桥钢轨挠曲力在加载区段很大,对无载区段影响很小,加载区段两端附近位置的钢轨力一般会出现峰值。箱型梁挠曲拉压应力相差不大,而 U 型梁的挠曲压力明显大于拉力。

2) 双线 U 型梁钢轨挠曲力和桥墩受力均小于双线箱型梁,而 U 型梁桥梁挠度大于箱型梁。综合比较,双线 U 型梁受力性较好。

3) 线路纵向阻力对钢轨挠曲力影响较大,而对桥墩受力影响较小;桥梁跨度对钢轨挠曲力影响较大,对桥墩受力以及桥梁挠度影响也较大;桥墩纵向刚度对钢轨挠曲力影响较小,而对桥墩受力影响较大。

参考文献

[1] 吴定俊. 高架轻轨桥梁设计参数取值分析[J]. 城市轨道交通研究. 2002,5(2):37-40.

[2] 卢耀荣. 无缝线路研究与应用[M]. 北京:中国铁道出版社,2004.

[3] 闫子权,任兵杰,梁青槐. 城轨 U 梁与箱梁桥上无缝线路受力及桥梁固有振动特性分析[J]. 兰州交通大学学报, 2011(1):54-58.

[4] 蒋鹏. 轨道交通槽型梁桥梁轨相互作用研究[D]. 上海: 同济大学,2008.

[5] 卢耀荣,冯淑卿. 桥上无缝线路挠曲力的计算[J]. 铁道学报,1987,9(2):58-69.

[6] 马坤全,沈钱斌,蒋鹏. 城市轨道交通高架桥无缝线路梁轨相互作用研究[J]. 城市轨道交通研究,2008,11(8): 30-34.

(编辑:郝京红)

Analysis of the Flexural Forces in CWR on Double-track Bridges of Urban Rail Transit

Wang Dongmei¹ Ni Xiangyang² Wang Huijun²

(1. College of Automation and Transportation, Qingdao Technology Unirersity, Qingdao 266033;
2. Qingdao Metro Corporation, Qingdao 266071)

Abstract: Two types of urban rail transit double-track bridges are considered including the new type U-beam bridge and the traditional type box-girder bridge. The additional flexural forces and displacement distribution in CWR on the bridges have been calculated by finite element method. This paper carried out a detailed analysis on the flexural forces in tracks, the pier forces and bridge deflections owing to the changes in the longitudinal resistance, bridge spans and pier stiffness. Results showed that longitudinal resistance, bridge spans affect the rail additional flexural forces to a larger extent and the pier stiffness less affects the rail additional flexural forces. These results can provide a theoretical basis for the design of urban rail transit bridges.

Key words: urban rail transit; double-track bridge; CW; flexural force; U-beam bridge

重庆单轨地铁采用“加长版”列车

日前,我国首条单轨地铁——重庆轨道交通 2 号线开始使用 6 节车厢(6 辆编组)组成的“加长版”列车运行。相对于此前 4 节车厢组成的列车,“加长版”列车每列载客量由原来的 882 人增加到 1 342 人,将提升 52% 的运能。

重庆轻轨 2 号线在 2005 年开通,随着城市版图的扩大、人口流动的加剧以及轨道交通渐成网络化,原有的 4 辆编组列车不堪重负。今年初,重庆轨道交通集团启动 2 号线扩编改造工程,经过历时 8 个月的系统升级改造和各系统的联合调试等工作,11 月 19 日起,6 辆编组的列车将逐步投入运行,与原有的 4 节编组列车混跑。

摘编自 www.chinametro.net 2012-11-22

中国北车两家企业
获得地铁牵引系统准入资质

9 月 17 日,中国北车大连电牵研发中心自主化牵引系统通过了中国交通运输协会城市轨道交通专业委员会组织的评审,获得了城轨车辆市场的准入资质。至此,中国北车拥有四方所公司和大连电牵研发中心两家可以生产城市轨道交通车辆(地铁车辆)牵引系统的企业,占据国内城轨牵引系统生产企业 2/3 的席位,中国与国际轨道交通巨头在地铁核心技术的掌握上逐渐形成对垒之势。由于中国北车还具备城轨制动系统生产资质,因此它成为国内唯一能生产城市轨道交通车辆两大核心部件——牵引系统和制动系统的企业。

摘编自 www.chinametro.net 2012-09-18