

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2022.03.038

在役轨道交通矮塔斜拉桥检测与评估

张智力¹, 崔 鑫²

(1.上海市青浦区道路运输管理事务中心, 上海市 201799; 2.上海市建筑科学研究院有限公司, 上海市 201108)

摘要:以某在役轨道交通矮塔斜拉桥的检测与评估为例,通过对矮塔斜拉桥受力特点的分析,确定了定期检测中矮塔斜拉桥的检测重点。主梁、主塔和墩柱的恒载几何形态测量表明,该矮塔斜拉桥整体保持稳定的状态,主梁跨中有沉降的趋势;通过桥梁自振特性、斜拉索索力和动位移的测试,明确了该桥的动力特性和动力响应;通过外观检查,明确了主梁主塔混凝土结构的病害和斜拉索锚头的现状。该项目的检测流程和检测方法可以为类似轨道交通桥梁的检测评定提供参考。

关键词:矮塔斜拉桥;检测评估;几何形态;动态性能;外观检查

中图分类号: U446

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)03-0144-03

0 引言

矮塔斜拉桥是一种介于连续刚构和斜拉桥之间的一种桥型^[1],由于其具有较好的经济指标和美学效果,近年来在国内得到了快速的发展。从结构构造特点上看,矮塔斜拉桥的主梁高介于连续梁和斜拉桥之间,塔高小于常规斜拉桥,斜拉索的数量少于常规斜拉桥且主梁边跨和主跨均包含无索区段。从结构受力特征上看,矮塔斜拉桥以梁受弯、塔受压、索受拉来承受外界荷载,受力特征更类似于体外索加固的预应力连续箱梁桥^[2]。矮塔斜拉桥在轨道交通领域应用的相对较少^[3],同时在轨道交通运营荷载、外界环境不利作用以及自身结构材料退化的影响下,桥梁各部件均易出现不同程度的损伤,对桥梁结构的安全运营造成影响,因此,应定期对其技术状况进行评估以确保桥梁的安全运营^[4]。本文以某在役轨道交通矮塔斜拉桥为工程背景,针对矮塔斜拉桥的受力特点,在外观检查的基础上,通过桥梁静态几何形态监测、桥梁动态工作性能监测对桥梁结构进行检测和对比,为后续类似桥梁的检测评估提供参考。

1 工程概况

某轨道交通采用单索面矮塔斜拉桥,塔墩分离,跨径布置为 80 m+140 m+80 m,见图 1。

桥梁索塔和斜拉索布置在双线之间,轨道线间距为 7.5 m,见图 2。该轨道交通桥梁行驶车辆采用 A 型

收稿日期: 2021-06-04

作者简介: 张智力(1989—),男,本科,工程师,从事道路桥梁技术管理工作。

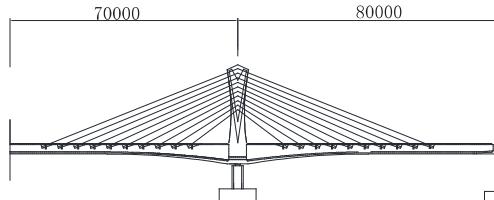


图 1 桥梁里面示意图(对称示意一半)(单位:mm)

车,轴重不大于 160 kN,最高运行速度为 160 km/h。主桥采用预应力混凝土单箱双室斜腹板箱梁,支点处梁高 5.6 m,跨中梁高 3.0 m。桥塔高度为 20.5 m,桥塔顺桥向侧面为弧形造型,并设有索鞍锚固槽口,横桥向侧面设有箭头造型的装饰。箱梁采用 C60 高强度混凝土,索塔采用 C50 混凝土。全桥共有 2×10 对斜拉索,斜拉索在箱梁上的中心距为 5.0 m。每对斜拉索有两根,横向间距 1.3 m。斜拉索采用应力幅参数 250 MPa 的低应力平行钢绞线斜拉索, $R_{yb}=1860$ MPa。主桥中墩和边墩均采用钻孔灌注桩和矩形承台。主桥边墩选用 JQZ-8000 支座,中墩采用 JQZ-4000 支座,活动中墩设液压 LUD 速度锁定器(LUD2000/400)两组。

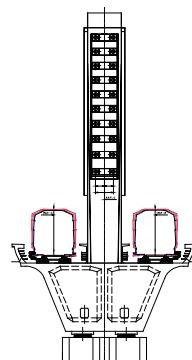


图 2 桥梁主塔横断面示意图(单位:mm)

2 桥梁静态几何形态监测

桥梁结构的几何形态监测是桥梁结构状态评定的最直接和最关键的指标之一^[5]。通过桥梁结构定期几何形态的监测和分析,可以建立结构的技术档案,同时对结构形态的变化趋势进行预测,为类似桥梁的监测提供参考^[6]。

2.1 主梁几何形态测量

主梁几何形态测量应包括桥面沉降和梁底线形测量。采用精密水准仪对桥面永久线形测点进行测量。桥面共设45个测试断面,每个断面沿横向各布置2个测点,全桥设2条测线,共90个测点。本次测量结果与上次测量结果相比,主跨跨中位置存在一定程度下挠,其中东侧主跨跨中最大累计沉降值10.0 mm,西侧主跨跨中最大累计沉降值9.1 mm;南、北边跨均存在上拱现象,北边跨跨中平均上拱5.0 mm,南边跨跨中平均上拱5.9 mm,见图3、图4。由于两次测试之间存在整体温差,分析表明,造成桥面沉降的主要原因为整体温度的影响;此外,从受力特征上看矮塔斜拉索类似于体外索连续刚构,收缩徐变也是引起桥面沉降的原因,后续应定期在每年夏天和冬天对桥面沉降进行测量和对比分析。

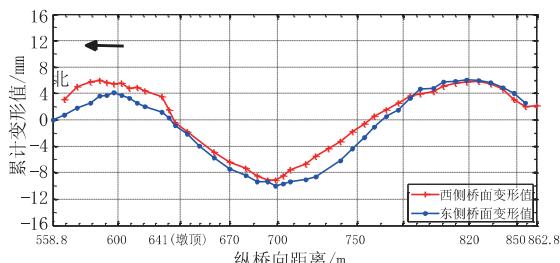


图3 桥面累计沉降曲线(与上次测量结果对比)

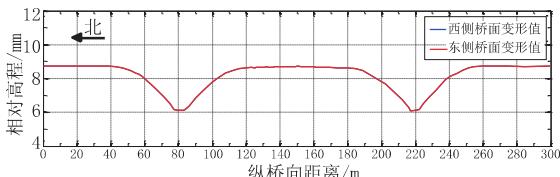


图4 东西侧梁底线形测量结果

在主桥梁底布置15个测试断面,上下游各布置一个梁底线形测点,梁底线形测量结果表明,梁底恒载线形较为平顺,为相对于上次测试结果,梁底线形变化趋势与桥面沉降趋势一致。

2.2 主塔几何形态测量

主塔几何形态应包括主塔倾斜和主塔塔座底轴线偏位。

主塔倾斜测试结果表明,与上次测试结果相比,顺桥向北侧索塔南偏5.4 mm,南侧索塔北偏6.0 mm,

横桥向北侧索塔西偏3.5 mm,横桥向南侧索塔东偏3.2 mm。为测量索塔塔座底轴线偏位,在索塔正下方箱梁底板同一断面两侧边缘各设置一个永久观测点,主塔塔座底轴线偏位测试结果表明,索塔塔座底轴线变化较小,北侧塔座底轴东偏0.4 mm,南侧塔座底轴东偏1.0 mm。

2.3 墩柱几何形态测量

墩柱几何形态应包括墩台沉降和墩台倾斜测量。墩台沉降测试结果表明,较上次测量,墩台最大沉降值为4.3 mm;墩柱倾斜测试表明,墩台最大倾斜度为1.3‰。墩柱基本保持稳定,未发生明显变化。

3 桥梁动态工作性能监测

桥梁结构是承受动荷载的结构物,在桥梁日常运营中,不仅需定期监测桥梁结构的动力特性,而且应定期监测列车运行状态下引起的车致振动及动力响应。

3.1 基于频率法的斜拉索索力监测

索力测量采用环境激励的频率测试方法,通过测试斜拉索的频率推算索力。斜拉索由于自然环境随机激振产生的横向振动信号,通过信号处理分析获得斜拉索的前若干阶自振频率值,按两端铰接的公式进行索力计算,计算中考虑了斜拉索抗弯刚度、斜拉索边界条件、索管和套筒的影响^[7]。检测结果表明,在恒载作用下全桥索力分布在1 488.5 kN~2 563.7 kN之间,有一定程度的离散性。对比上一次测试结果可知,共2根斜拉索的索力相对变化量较大,在分别为-16.5%和16.2%,其他斜拉索的索力相对变化量在-4.2%~8.3%之间,索力变化情况相对稳定。全桥拉索索力总体对称性较差。恒载作用下东、西侧有8对斜拉索的索力相对差值在14.4%~40.4%之间,恒载作用下边跨和中跨有,15对斜拉索的索力相对差值在12.5%~44.0%之间。

3.2 自振特性监测

现场采用竖向传感器采集的主梁实测自振频率见表1。本次试验中实测频率与理论计算频率的比值大于1.05,说明桥梁上部结构整体性能和受力体系未发生明显改变,主梁刚度状况良好。阻尼实测结果表明,本桥主梁一阶对称竖弯振型的实测阻尼比为1.764%,一阶对称横弯振型的实测阻尼比为1.938%,斜拉桥上部结构整体刚度较好,无明显结构性损伤。

表1 自振特性测试结果

频率阶数	对应模态	理论频率 /Hz	实测频率 /Hz	频率比 (实测 / 理论)
1阶	一阶对称竖弯	0.605	0.775	1.28
2阶	一阶对称横弯	1.187	1.250	1.05
3阶	一阶反对称竖弯	1.229	1.300	1.06
4阶	二阶对称竖弯	1.741	1.875	1.08

3.3 动位移监测

采用激光挠度检测仪对主梁的跨中、北塔塔顶、南塔塔顶动位移进行检测。在一列列车通过桥梁的过程中,记录主梁跨中测点的动挠度时程曲线,并根据动挠度曲线计算挠度动态增量,结果见图5和图6。

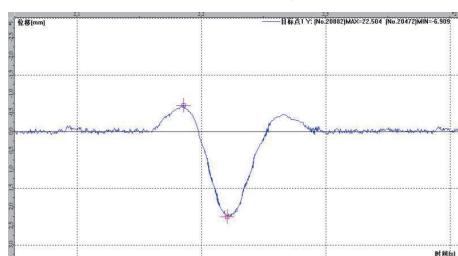


图5 主梁跨中动挠度时程曲线

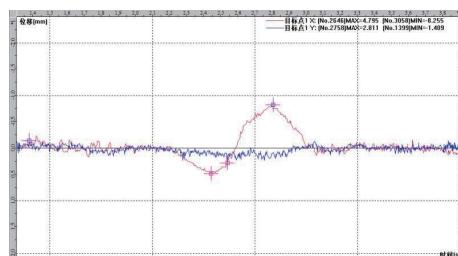


图6 北侧索塔塔顶动挠度时程曲线

运营状态下实测主梁跨中动位移最大值为22.504 mm,位移动态增量为0.02,动挠度最大值小于《地铁设计规范》(GB 50157—2013)规定的竖向挠度容许值,说明桥梁的行车性能以及桥面平整度均良好。北侧索塔顺桥向动位移最大值为8.255 mm,南侧索塔顺桥向动位移最大值为7.023 mm,均未超过规范允许值。

4 桥梁外观检查

根据矮塔斜拉桥的受力特点,矮塔斜拉桥主梁和主塔易出现混凝土破损、开裂,钢筋锈蚀等病害;斜拉索易出现锚头渗水和锈蚀等病害^[8]。现场检测结果表明,箱梁梁底以及腹板局部存在纵向、斜向裂缝析白现象;箱室内部顶板出现纵桥向裂缝,裂缝宽度0.04~0.10 mm,该类裂缝属于顶板收缩裂缝;横隔梁普遍出现竖向裂缝,最大裂缝宽度达到0.25 mm,最大竖向裂缝长度达到1.5 m,见图7;斜拉索表面PE护套整体状况良好,未发现明显破损、裂缝、老化等

病害,下端锥形筒导管整体状况较好、存在轻度锈蚀现象,锥形筒顶部密封效果较好,下端密封混凝土未出现开裂。锚头整体状况较好,没有出现渗油、锈蚀等病害,见图8。



图7 顶板纵向裂缝



图8 锚头状况较好

根据《铁路桥隧建筑物修理规则》(TG/GW103—2010)第5.10.2条以及《铁路桥隧建筑物劣化评定标准》(TB/T 2820.1~2820.8)依次对索塔、斜拉索、箱梁、支座和桥墩进行技术状况评级,该桥的结构物或构件劣化轻微,对其使用功能和行车安全无影响。

5 结 论

基于本次轨道交通矮塔斜拉桥检测评估实践可知:

(1)该矮塔斜拉桥整体技术状况较好,结构物或构件劣化轻微,应定期进行检测,及时对耐久性病害进行处理。该斜拉桥主跨跨中桥面有沉降的趋势,后期应加强监测。

(2)轨道交通矮塔斜拉桥的定期检测应重点关注桥梁静态几何形态监测、桥梁动态工作性能监测和外观检查。

(3)轨道交通矮塔斜拉桥静态几何形态监测应针对主梁、主塔和墩柱等部位针对性布置测点,不同测点之间的实测值并非独立,可以进行互相印证。桥梁动态工作性能监测可以定期监测桥梁结构的动力特性和列车运行状态下的动力响应。

(下转第167页)

4 结论及建议

(1) 高铁隧道开挖过程中,地表出现沉降槽,开挖至市政桥梁附近时地表沉降速率变大,即地面有附加荷载时会加快地表的沉降速率。建议在施工至桥梁附近时应对隧道周围土层进行加固处理、放缓隧道开挖速度并及时对隧道进行支护。

(2) 地表沉降量最大的位置并不是桥梁桩基附近,说明隧道两侧的桩基对地层的扰动有约束作用。

(3) 由于穿越桩端位置的隧道对桩端的扰动大,桩基础在地质条件不好的情况下容易发生向内的倾斜;同一排桩的位移值基本一致,桩端的水平位移大于桩顶,且同一个墩台下的前排桩的水平位移小于后排桩、前排桩的竖向位移大于后排桩。建议隧道在穿越地质较差的桩基时,对桩基附近的土层进行加固处理。

参考文献:

[1] 邹彬,武李和乐,李金华,等.暗挖隧道与邻近桥桩距离对桥梁的影

响性分析[J].中国轨道交通研究,2018(3):24-27.

- [2] CHEN L T,POULOS H G.Pile responses caused by tunneling[J].Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering,1999,125(3):207-215.
- [3] MORTON J D,KING K H.Effects of tunneling on the bearing capacity and settlement of piled foundations[C]//Proceedings,Tunneling 79, London:IMM,1979.
- [4] 王述红,赵贺兴,姜磊,等.基于两阶段法地铁盾构开挖对邻近桩基影响分析[J].东北大学学报(自然科学版),2014,35(6):871-874.
- [5] 孙吉主.盾构机掘进对基桩影响的工程分析法[J].武汉理工大学学报,2003,25(3):56.
- [6] 郭军,陶连金,边金.盾构法施工地铁区间隧道的地表沉降[J].北京工业大学学报,2005(6):589-592.
- [7] 刘大刚,陶德敬,王明年.地铁双隧道施工引起地表沉降及变形的随机预测方法[J].岩土力学,2008,29(12):3422-3426.
- [8] 杨平,朱逢斌.城市隧道施工对邻近单桩工作性状影响研究[J].现代隧道技术,2006,II(增):234-235.
- [9] 王立峰.盾构施工对桩基的影响及桩基近邻度划分[J].岩土力学,2014,35(增2):319-324.

(上接第 146 页)

(4) 应定期检查矮塔斜拉桥的混凝土结构和斜拉索锚头,随时掌握桥梁技术状况和发展趋势。

参考文献:

- [1] 陈从春,周海智,肖汝诚.矮塔斜拉桥研究的新进展[J].世界桥梁,2006(1):70-73.
- [2] 何新平.矮塔斜拉桥的设计[J].公路交通科技,2004,21(4):66-66.
- [3] 郭敏,陈亮.城市轨道交通矮塔斜拉桥受力性能研究[J].广东土木与建筑,2020,27(3):32-36,43.

[4] 刘志华.现役矮塔斜拉桥检测与评定[J].北方交通,2019(5):39-42.

[5] 王波,陈开利,钟继卫.基于统计及形态特征指标的桥梁线形监测评估[J].桥梁建设,2011(2):13-17.

[6] 侯波,胡建勋.宜昌长江公路大桥几何线形定期健康监测研究[J].公路,2009(5):264-268.

[7] 王荣辉,薛礼建.矮塔斜拉桥索力测试方法研究[J].中外公路,2011,31(2):116-120.

[8] 刘志华.现役矮塔斜拉桥检测与评定[J].北方交通,2019(5):39-42.