

公路钢波纹板拱桥受力特征分析

胡滨¹, 梁养辉¹, 刘百来², 刘辉民², 窦艳宁¹

(1. 中交第一公路勘察设计研究院有限公司, 陕西 西安 710075; 2. 西安工业大学)

摘要:依托试验工程,对不同跨径钢波纹板拱桥进行荷载测试,得出不同工况下钢波纹板拱桥不同角度(位置)的应力变化规律,通过研究得到以下结论:荷载作用下不同跨径钢波纹板拱桥应力以拱顶(90°)为中心对称分布;钢波纹板拱桥与周围土体共同受力,由于纵向和轴向波纹的存在,使得力沿着板壁向下传递,致使拱脚位置(0°和180°)受力最大,但最大应力值小于钢波纹板材料的最大允许应力值,结构安全稳定;不同跨径钢波纹板拱桥在相同荷载作用下,随着钢波纹板拱桥跨径的增大(6 m→8 m→10 m),拱脚(0°和180°)的应力逐渐增大,拱顶附近(90°)的应力由相对稳定到波动变化,且跨径越大波动幅度越大。

关键词:公路工程;中小跨径;钢波纹板拱桥;受力分析

1 概述

钢波纹板拱桥在中国应用很少,特别是低填土条件下10 m跨径及以上的钢波纹板拱桥应用极为罕见,但这种桥梁不仅解决了现场施工难度系数高、传统拱桥结构复杂的问题,而且有效地降低了路基填方高度、减少了基础的特殊处理工作,是拱桥工程的一项重大创新。

采用钢波纹板拱桥代替混凝土拱桥,一方面由于钢波纹板纵向和轴向波纹同时受力,可减小应力集中现象;另一方面,可节约造价、缩短工期、有利于环保,具有显著的经济及社会效益。因此,很有必要对钢波纹板拱桥进行研究,以促进钢波纹板结构在公路工程中的应用。

该文依托试验工程,测试不同工况下不同跨径(6、8、10 m)钢波纹板拱桥的受力和变形特征,以确保在施工和运营期间结构稳定、安全,并起到指导结构设计和施工的作用。

2 依托工程概况

不同跨径钢波纹板拱桥上部均采用钢波纹板拼装结构,下部采用现浇钢筋混凝土结构,具体见表1。

表1 不同跨径钢波纹板拱桥结构

跨径/ m	波长×波高/ (mm×mm)	壁厚/ mm	板顶填土 高度/m	下部墩台 结构	工程地点
6	150×50	5	4.0	现浇钢筋混 凝土结构	云南宣 曲高速
8	150×50	7	4.1	现浇钢筋混 凝土结构	云南宣 曲高速
10	380×140	7	4.3	现浇钢筋混 凝土结构	青海西宁

3 试验方案

3.1 钢波纹板拱桥内壁应变片布置

跨径6、8、10 m钢波纹板拱桥内壁应变片均按照0°、15°、30°、45°、60°、75°、90°、105°、120°、135°、150°、165°、180°间隔15°均匀布置。如图1所示。

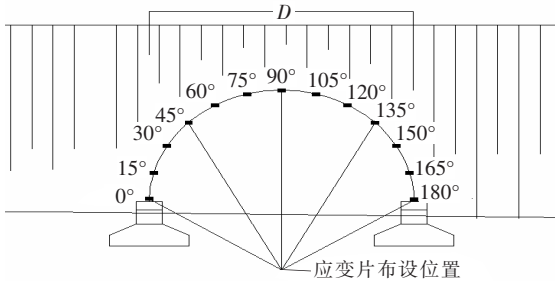


图1 应变片布设示意图(D为波纹钢板拱桥跨径,现场试验D为6、8、10 m)

3.2 测试工况

分别对跨径 6、8 和 10 m 的钢波纹板拱桥进行车辆荷载作用下应力变化的测试,不同跨径钢波纹板拱桥均分为 4 种测试工况,如图 2 所示。

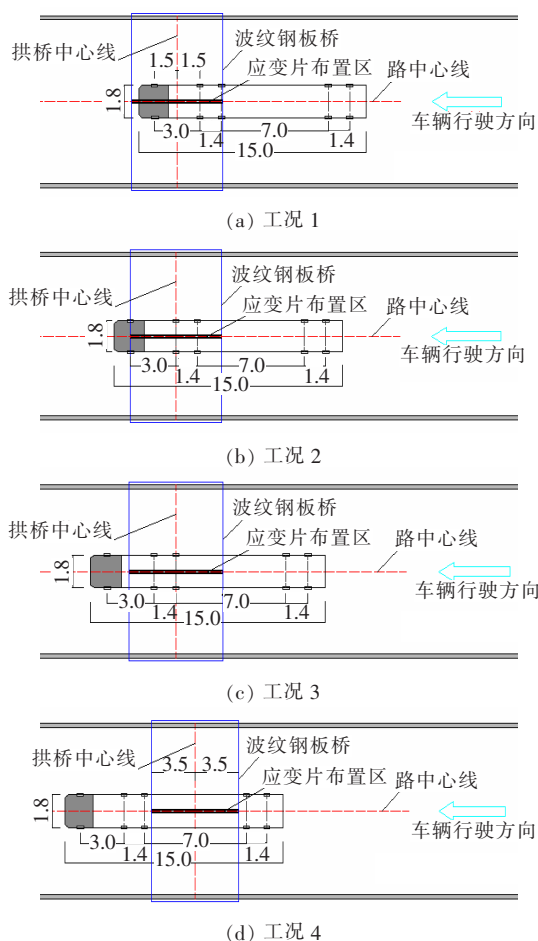


图 2 加载车辆位置示意图(单位:m)

4 钢波纹板拱桥受力规律分析

4.1 跨径 6 m 钢波纹板拱桥受力规律分析

(1) 荷载作用下拱桥路中测区波峰受力规律(图 3)

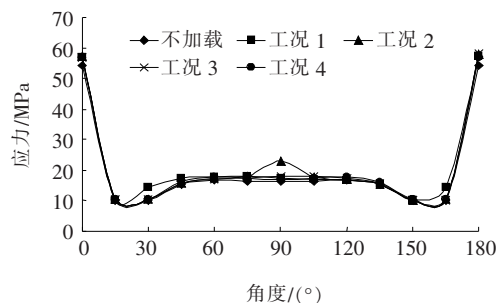


图 3 荷载作用下拱桥路中测区波峰应力变化规律

由图 3 可以看出:① 车辆沿路线行驶时,各工况

下拱桥路中测区波峰变化规律一致。除拱桥拱脚附近(0° 、 180°)位置外,波峰断面的应变值整体较为接近,在相同荷载条件下,同一断面的各测点的等效应力值基本为恒值;② 填土至路基顶未加荷载及不同荷载作用下,拱桥不同测点的应力变化规律一致,说明钢波纹板拱桥与周围土体共同受力,拱顶 4 m 的填土抵消了一部分汽车荷载作用力,也进一步证明了钢波纹板拱桥由于波纹的存在,波纹与周围土体连接得更紧密,整体受力更为优越;③ 各种工况下,钢波纹板拱桥各测点应力均以拱顶位置(90°)对称分布,拱脚位置(0° 和 180°)受力要远大于其他位置(约为 3 倍),但最大应力值远小于钢波纹板材料的允许应力值(156.7 MPa),结构安全稳定。为了进一步确保钢波纹板拱桥整体稳定性,设计时应增加钢波纹板桥拱脚与基础混凝土的连接强度,同时施工时应应对拱脚进行观测,以确保施工质量。

(2) 荷载作用下拱桥路中测区波谷受力规律(图 4)

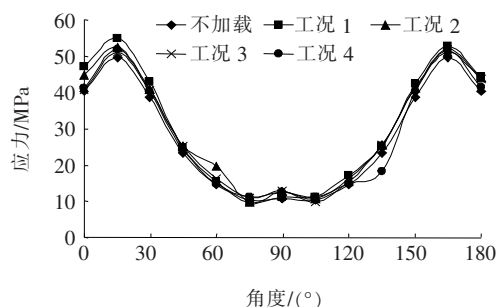


图 4 荷载作用下拱桥路中测区波谷应力变化规律

由图 4 可以看出:① 车辆沿路线行驶时,各工况下拱桥路中测区波谷应力变化规律一致。不同工况下,各测点应力值以拱顶位置(90°)对称分布,总体上变化规律为 0° (拱脚位置) $\rightarrow 15^\circ$ 增大, $30^\circ \rightarrow 75^\circ$ 逐渐减小,后 90° (拱顶)略微增大; $105^\circ \rightarrow 165^\circ$ 逐渐增大, 180° 略微减小;② 在不同工况下,总体上拱脚位置附近(15° 和 165°)受力最大,拱顶位置附近(75° 和 105°)受力最小,最大应力约为最小应力的 5 倍,最大应力值约为 55 MPa;③ 拱顶 90° 在周围应力逐渐减小的趋势下反而略微增加,这可能是车辆荷载垂直向下压力作用和周围土体对拱桥产生向上挤压力共同作用产生的。

4.2 跨径 8 m 钢波纹板拱桥受力规律分析

(1) 荷载作用下拱桥路中测区波峰受力规律(图 5)

由图 5 可以看出:① 车辆沿钢波纹板拱桥行驶时,各工况下拱桥路中测区波峰变化规律一致。钢波

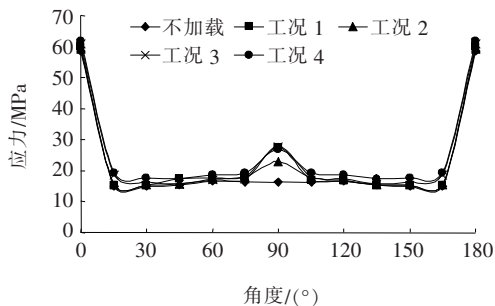


图 5 荷载作用下拱桥路中测区波峰应力变化规律

纹板拱桥应力均以拱顶位置(90°)对称分布,拱脚位置(0°和 180°)受力要远大于其他位置;② 总体上在拱脚位置附近(0°和 180°)和拱顶位置附近(90°)应力变化较大,其他位置较为平稳。

(2) 荷载作用下拱桥路中测区波谷受力规律(图 6)

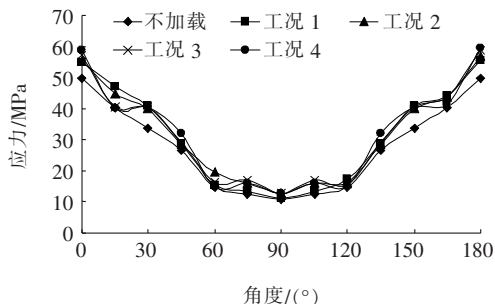


图 6 荷载作用下拱桥路中测区波谷应力变化规律

由图 6 可知:荷载作用下,总体上钢波纹板拱桥各测点应力均以拱顶位置(90°)对称分布,0°→90°逐渐减小,至 90°为最小值,后 90°→180°逐渐增大,且不同测点位置应力波动变化。拱脚位置(0°和 180°)受力要远大于其他位置。

4.3 跨径 10 m 钢波纹板拱桥受力规律分析

(1) 荷载作用下拱桥路中测区波峰受力规律(图 7)

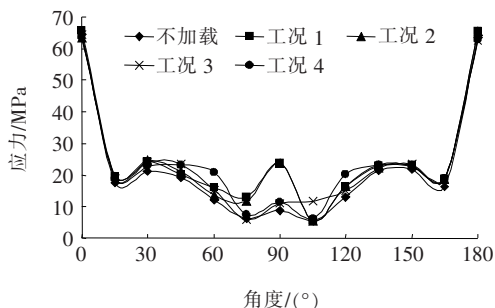


图 7 荷载作用下拱桥路中测区波峰应力变化规律

由图 7 可以看出:① 车辆沿路线行驶时,各工况下拱桥路中测区波峰变化分为 3 个阶段:第一阶段 0°(拱脚位置)→30°先快速减小后增大,该阶段各角度值

在不同工况下数值较为接近;第二阶段 30°→150°各测点应力值波动变化;第三阶段 150°→180°先减小后快速增大,该阶段各角度在不同工况下应力值较为接近;② 各种工况下,钢波纹板应力均以拱顶位置(90°)对称分布,拱脚位置(0°和 180°)受力要远大于其他位置,最大应力值为 65 MPa。桥顶(90°)应力值均大于附近两侧的应力值,且存在突然增大的变化,因此存在应力集中的现象,施工时应进行重点观测。另外,桥顶(90°)应力值并未按照周围应力值减小的规律变化,而出现突然增大的现象,这可能是车辆荷载向下作用力与周围土体给钢波纹板拱桥的力相互作用的结果。

(2) 荷载作用下拱桥路中测区波谷受力规律(图 8)

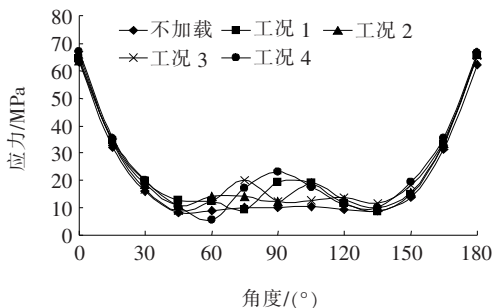


图 8 荷载作用下拱桥路中测区波谷应力变化规律

由图 8 可以看出:① 车辆沿钢波纹板拱桥行驶时,各工况下拱桥路中测区波谷变化分为 3 个阶段:第一阶段 0°(拱脚位置)→30°快速减小,该阶段各角度值在不同工况下数值较为接近;第二阶段 30°→150°各测点应力值波动变化;第三阶段 150°→180°快速增大,该阶段各角度值在不同工况下应力值较为接近;② 各种工况下,钢波纹板拱桥应力均以拱顶位置(90°)对称分布,桥顶位置(90°)附近为 10~20 MPa 波动变化,受力较小,而拱脚位置(0°和 180°)受力要远大于其他位置,最大应力值为 65 MPa,这是由于波纹的存在,钢波纹板桥与周围土体结合紧密,在荷载作用下,钢波纹板拱桥的力沿着板壁向下传递,导致拱脚(0°和 180°)的受力最大。

4.4 不同跨径钢波纹板拱桥受力规律对比分析

4.4.1 不同跨径钢波纹板拱桥波峰受力规律

由图 3、5、7 可以看出:

(1) 相同荷载作用下,随着钢波纹板拱桥跨径的增加(6 m→8 m→10 m),拱脚位置(0°和 180°)的应力逐渐增大,拱顶位置(90°)的应力由相对稳定到波动变化,且跨径越大波动越大。30°~150°位置应力在跨径 6 m 时相对稳定,跨径 10 m 时产生波动,说明跨径越大钢波纹板拱桥应力变化越大。

(2) 荷载作用下,不同跨径钢波纹板拱桥最大应力在拱脚位置附近(0° 和 180°),为65 MPa,远小于钢波纹板材料的允许应力值156.7 MPa,结构安全稳定。

(3) 荷载作用下,不同跨径钢波纹板拱桥应力以拱顶(90°)对称分布,这说明由于轴向波纹的存在,能更好地传递应力,波纹钢结构能更好地适应拱桥的结构形式。

(4) 随着跨径的增大,最小应力并未出现在拱顶,而是出现在拱顶附近 $\pm 15^\circ$ 位置(即 75° 和 105°),这是由于汽车荷载垂直向下的力和钢波纹板拱桥周围土体对波纹板向上的力,两者相互作用产生的。

4.4.2 不同跨径钢波纹板拱桥波谷受力规律

由图4、6、8可以看出:

(1) 与波峰变化规律相似:相同荷载作用下,随着钢波纹板拱桥跨径的增加(6 m \rightarrow 8 m \rightarrow 10 m),拱脚位置(0° 和 180°)的应力逐渐增大,拱顶位置(90°)的应力由相对稳定到波动变化,且跨径越大波动越大。 $30^\circ\sim 150^\circ$ 位置应力在跨径6 m时相对稳定,跨径10 m时产生波动,说明跨径越大钢波纹板拱桥应力变化越大。

(2) 荷载作用下,6 m跨径钢波纹板拱桥最大应力在 15° 和 165° 位置,8 m和10 m跨径钢波纹板拱桥最大应力在拱脚位置(0° 和 180°),这说明相同荷载作用下,随着跨径的增大钢波纹板拱桥最大应力有向拱脚位置逐渐转移的趋势。

(3) 荷载作用下,不同跨径钢波纹板拱桥应力以拱顶(90°)对称分布,这说明由于轴向波纹的存在,能更好地传递应力,波纹钢结构能更好地适应拱桥的结构形式。

5 结论

通过对相同荷载不同跨径钢波纹板拱桥现场试验,得出荷载作用下钢波纹板拱桥的受力变化规律。具体如下:

(1) 相同荷载不同跨径钢波纹板拱桥波峰、波谷均在拱脚位置(0° 和 180°)受力最大。

(2) 钢波纹板拱桥在拱脚位置(0° 和 180°)受力最大,跨径6 m时最大应力值为55 MPa,跨径8 m时最大应力值为60 MPa,跨径10 m时最大应力值为65 MPa,远小于钢波纹板材料的最大允许应力值235

MPa,结构安全稳定。

(3) 荷载作用下,不同跨径钢波纹板拱桥应力以拱顶(90°)为中心对称分布,这说明钢波纹板拱桥由于轴向波纹的存在,能更好地传递应力,波纹钢结构能更好地适应拱桥的结构形式。

(4) 相同荷载作用下,随着钢波纹板拱桥跨径的增加(6 m \rightarrow 8 m \rightarrow 10 m),拱脚(0° 和 180°)的应力逐渐增大,且跨径越大波动越大;拱顶位置(90°)的应力由相对稳定到波动变化, $30^\circ\sim 150^\circ$ 位置应力在跨径6 m时相对稳定,跨径10 m时产生波动,说明跨径越大应力变化幅度越大。

参考文献:

- [1] 中交第一公路勘察设计研究院. 公路钢波纹管涵洞设计与施工技术[Z],2003.
- [2] 中交第一公路勘察设计研究院. 公路钢波纹管涵洞设计与施工技术研究(报告集)[R],2003.
- [3] JTGD30—2015 公路路基设计规范[S].
- [4] JTGD61—2005 公路圬工桥涵设计规范[S].
- [5] 李长江,胡滨,梁养辉,季冻区浅埋地基钢波纹管涵洞施工关键技术[J]. 筑路机械与施工机械化,2016(10).
- [6] 张博,梁养辉,胡滨,等. 湿陷性黄土地区公路钢波纹管涵洞的受力特征[J]. 筑路机械与施工机械化,2018(2).
- [7] 李祝龙,刘百来. 钢波纹板涵洞力学性能现场试验研究[J]. 公路交通科技,2006(3).
- [8] 邓玉训,杨波,梁养辉,等. 高填方路基大孔径钢波纹管涵洞有限元分析[J]. 筑路机械与施工机械化,2017(9).
- [9] 李祝龙,孙秀凯,胡滨. 高填方路基钢波纹板涵洞分层土压力分析[J]. 中外公路,2014(1).
- [10] 郭新春,梁养辉,胡滨,等. 钢波纹管在公路涵洞工程中的应用研究[J]. 公路交通技术,2013(4).
- [11] 张红宇,胡滨,梁养辉,等. 大孔径钢波纹管涵洞分层土压力及效益分析[J]. 筑路机械与施工机械化,2015(12).
- [12] 姚孝虎,胡滨,梁养辉,等. 公路钢波纹管涵洞施工工艺研究[J]. 山东交通科技,2004(4).
- [13] 刘百来,李祝龙,汪双杰. 钢波纹管涵洞力学性能的有限元分析[J]. 西安工业学院学报,2006(1).
- [14] 胡小兵,李祝龙,梁养辉,等. 高路堤钢波纹管涵与钢筋混凝土拱涵土压力对比分析[J]. 筑路机械与施工机械化,2015(9).
- [15] 曹兴海,黄志福,李祝龙,等. 大孔径钢波纹涵洞施工技术[J]. 交通科技与经济,2013(6).