

嘉韶大桥刚性铰内部支座试验研究

杨万理, 周凌远

(西南交通大学 土木工程学院, 四川 成都 610031)

摘要: 参考有限元分析结果, 对实桥进行缩尺和简化, 模拟刚性铰及内部支座的实际工作环境, 进行刚性铰模型试验. 实验表明在受力复杂的工作环境下, 聚四氟乙烯材料滑板的耐磨性稍优于超高分子量聚乙烯滑板支座, 带球铰的滑板支座优于不带球铰的滑板支座. 设置调节支座间隙的装置、增大滑板接触面的面积, 可提高支座耐磨性, 改善刚性铰的运动工作性能.

关键词: 模型试验; 球铰; 橡胶支座; 斜拉桥; 钢箱梁

中图分类号: U443.36 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2010)01-0042-05

Experimental Study on Inner Abutment in Rigid-Hinge of Jiashao Cable-Stayed Bridge

YANG Wan-li ZHOU Ling-yuan

(School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract Based on finite element analysis, a model is established according to the scale-down and simplified bridge. It is then tested by simulating the actual working environment of internal abutment in rigid-hinge. It is shown through the experimental results that the abrasion resisting properties of PTFE is slightly better than that of UHMW-PE in the complicated working conditions. Sliding plate bearing support with spherical hinge is better than the one without it. The setting of support gap actuating device and enlarging sliding-plate contact area are beneficial to enhance abrasion resisting properties of support and to improve the dynamic performance of rigid-hinge.

Key words model test; ball friction; rubber bearing; cable-stayed bridge; steel box girder

0 引言

嘉韶大桥(嘉兴至绍兴跨江公路通道工程)主航道桥为 $70+200+5\times 428+200+70=2680\text{m}$ 的 6 塔独柱 4 索面钢箱梁斜拉桥. 因主梁较长, 温度变形问题突出. 为有效解决嘉韶大桥主航道桥的温度荷载问题, 设计中采用了在中塔之间的主梁跨中位置设置刚性铰(一种伸缩连接结构, 国内外对这种结构的研究还不常见, 这里暂且称之为刚性铰)构造的方式. 刚性铰不仅要满足正常运营下的承载能力要求, 还要具备释放跨中 2 侧主梁的纵向相对位移, 约束主梁两端的竖向、横向相对变形及相对转动的能力^[1]. 荷载作用下, 内部支座能否滑动, 以及滑动部分材料在长期伸缩过程中的耐磨性能如何, 是刚性铰能否满足使用功能要求的关键. 论文对正弯矩荷载下刚性铰的反复运动工作性能以及支座耐磨性能进行初步研究, 与单纯的支座材料耐磨性试验不同, 试验中模拟了内部支座服役时所处的复杂工作环境. 希望能为实桥刚性铰内部支座类型、支座材料的选择提供参考.

收稿日期: 2009-09-10 基金项目: 西南交通大学青年教师科研起步项目资助(项目编号: 2008Q091)

第一作者简介: 杨万理(1979-), 男, 博士, 讲师. 主要研究方向: 桥梁结构和桥梁抗震. E-mail: ywl_5234@home.swjtu.edu.cn

1 刚性铰试验模型的构造及内部支座的布置

图 1 为刚性铰试验模型立面图. 由于试验研究的主要范围为刚性铰位置小箱梁与大箱梁接触范围及其临域, 因此在保证该区域基本结构特性不变的前提下, 对桥截面进行缩尺简化, 缩尺比例为 1:4

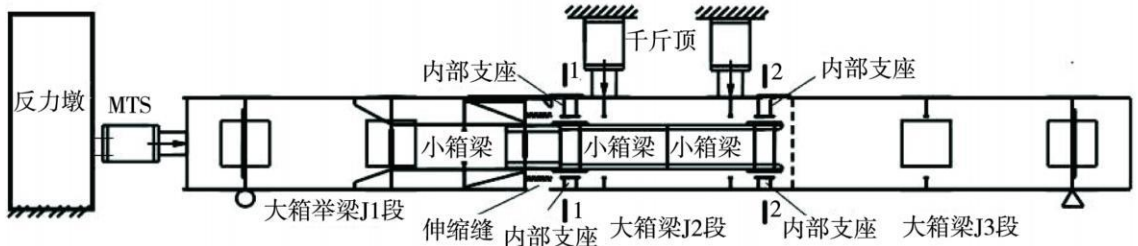


图1 刚性铰试验模型立面图
Fig.1 Elevation drawing of rigid-hinge test model

简化的原则为: 考虑到小箱梁尺寸较小, 并且全部处于主要试验研究范围, 故保持其结构形式基本不变; 对大箱梁模型进行适当简化, 并确保简化后的模型与实桥在控制断面处具有相似的抗弯刚度. 实桥单幅断面为双箱梁, 试验模型取实桥断面的一半, 将实桥箱梁外腹板和斜腹板去掉, 保留与小箱梁相邻的纵隔板, 并增设加劲肋以防止最大侧弯工况时发生局部失稳; 相应增加纵隔板的厚度, 以保证截面抗弯刚度的相似性, 并将 U 肋按刚度等效原则简化为板肋, 以便于制造. 内部支座的布置见图 2 该断面有 6 个内部支座, 2-2 断面也有 6 个内部支座.

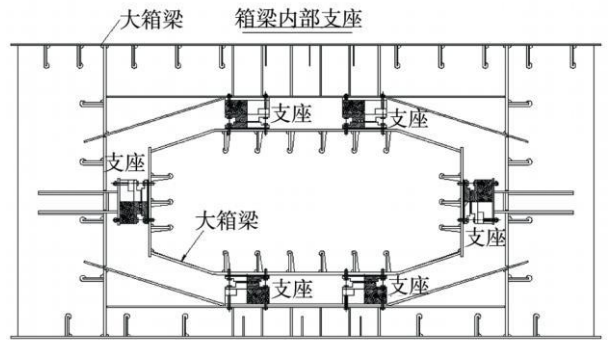


图2 试验模型1-1断面图
Fig.2 Cross-section 1-1 of test model

2 刚性铰运动工作性能加载方案及边界条件模拟

根据有限元分析结果, 实桥在运营过程中刚性铰位置存在正弯矩和负弯矩 2 种受力状态, 而刚性铰小箱梁支座在这 2 种受力状态下分别由不同的前后上下 2 对支座承受弯矩. 当刚性铰处于正弯矩的受力状态时, 靠近小箱梁固定端的上面 1 对支座和靠近小箱梁自由端的下面 1 对支座接触并发生磨损. 而当处于负弯矩受力状态时, 上述 2 对支座不参与工作, 另外 2 对支座受力并磨损. 试验时对刚性铰实施正弯的加载, 千斤顶安装在大箱梁 J2 梁段. 各力的大小和具体位置、支撑体系的位置等根据实际工况下结构的受力经过精确计算来确定. 试验确定采用应力相似比采用 1:1, 根据量纲分析, 模型上施加的弯矩和扭矩应为实际结构相应内力的 1/64 集中荷载应为实际结构的 1/16 试验时, 大箱梁 J2 段和大箱梁 J3 段不动, MTS 数控试验系统的作动器施加反复荷载, 推拉大箱梁 J1 段, 与 J1 段相连的小箱梁依靠内部滑板支座, 在大箱梁 J2 段内部来回运动. 竖向加载后内部支座 2 滑板的摩擦力约 10 kN, 该力由混凝土反力墩中钢锚杆的预压力和混凝土自身重量在混凝土与地面间产生静摩擦力来抵抗. 如图 1 所示.

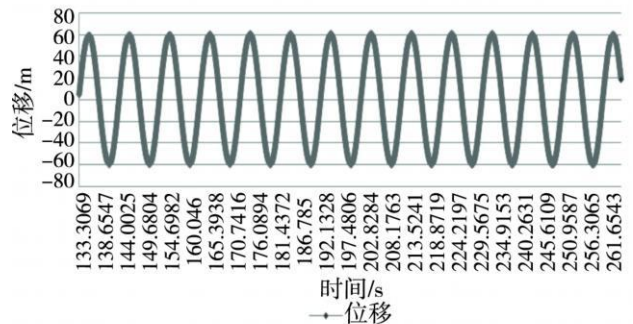


图3 MTS施加的时间—位移曲线
Fig.3 Displacement-time curve of MTS load

竖向千斤顶荷载施加至 85 kN 时, MTS 按正弦波运动, 10 s 为 1 个周期, 每周期行程 24 cm, 平均速度为 2.4 cm/s 每推拉 5 000 次停机观测结构各部

情况和支座磨损情况,直到支座摩擦损坏为止.MTS作动器施加给刚性铰的运动位移-时间曲线如图 3所示.

3 不同类型支座下试验数据分析

3.1 试验采用的内部支座滑板材料

聚四氟乙烯 (PTFE): 纯的聚四氟乙烯极不耐磨,但在聚四氟乙烯中加入各种填料,耐磨性提高.摩擦因数比其他工程塑料小,一般仅 0.04 如在高速、高压条件下其摩擦因数可低于 0.01. 超高分子量聚乙烯 (UHMW-PE): 高分子量聚乙烯的耐磨损性居现有塑料之首.自润滑性优异,其摩擦因数为 0.07~0.1,仅次于自润滑性最好的聚四氟乙烯 PTFE^[2].

UHMW-PE 与 PTFE相比,UHMW-PE的砂浆磨耗指数仅是 PTFE的 1/5 无润滑条件下:UHMW-PE的摩擦因数比 PTFE摩擦因数要高 0.03~0.045左右.有润滑条件下:UHMW-PE的摩擦因数比 PTFE摩擦因数仅高 0.005~0.012左右,2种材料都是随着压应力增加,摩擦因数减小,在无润滑的情况下,UHMW-PE下降的快些^[3].

3.2 试验采用的滑板支座结构

滑板支座: 试验用滑板支座构造如图 4左图所示.它由钢板和滑动部分构成.其结构形式是在钢板的下端连接超高分子量聚乙烯,然后再放置在底座材料(镜面不锈钢板等)上.在水平外力作用下,支座以及上部结构能在底座材料上来回滑动.

有球铰的滑板支座: 为了适应结构的变形,在滑板支座的基础上,将滑板支座固定在大箱梁上的部分改为球铰结构.文献表明球铰支座传力可靠、转动灵活.它既具备盆式橡胶支座承载能力大、容许支座位移大等优点,而且能更好地适应支座大转角的需要.以下称试验中采用的这种支座形式为有球铰的滑板支座,称原滑板支座为无球铰的滑板支座,以示区别,如图 4右图所示.

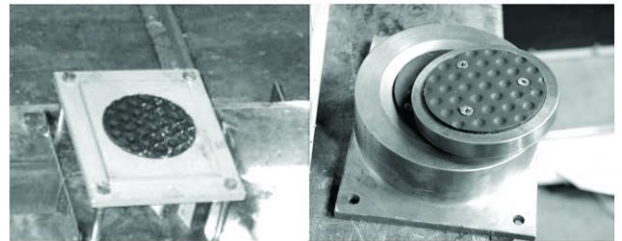


图4 滑板支座和有球铰的滑板支座(球铰结构)
Fig.4 Sliding plate bearing support and sliding plate bearing support with sphere hinge

3.3 无球铰超高分子量聚乙烯滑板支座

MTS推拉荷载-时间曲线如图 5所示,拉力为正、推力为负.从图中得到发现 MTS推拉力值变化明显.试验开始时,最大拉力 4 kN,最大推力 10 kN;至结束时,最大拉力 20 kN,最大推力 40 kN.

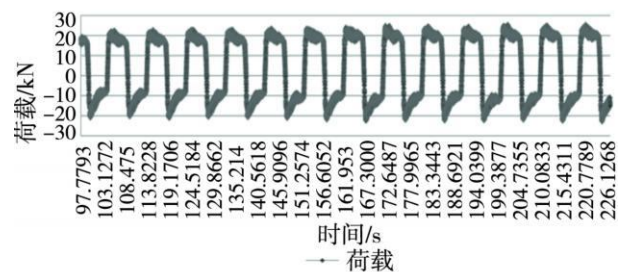


图5 MTS荷载-时间曲线
Fig.5 Load-time curve of MTS

在推拉小于 200次时,刚性铰机构能纵向自由伸缩.随着推拉次数的增加,MTS推拉力(即支座摩擦力)逐渐增大,滑板材料磨损严重,运动时刚性铰抖动,有较大的噪声.并在推拉 600次左右出现明显的金属摩擦声,支座材料损坏.此情况下同一位置左右 2个滑板超高分子量聚乙烯材料磨损情况不同,靠近 J1段的支座,上面右侧的支座材料磨损比上面左侧严重.靠近 J3段的支座,下面左侧支座材料磨损比右侧严重.这说明小箱梁在受扭状态下,纵向同一位置处的左右 2个支座受力不同的.由于小箱梁和大箱梁的弯曲变形,顺桥轴线方向的支座(即固定端侧和自由端侧)磨损情况也不同.同一支座材料,靠近 J1侧磨损量比远 J1侧小.这说明滑板支座不能适应结构的弯曲变形,同一个支座面受力不均.支座的

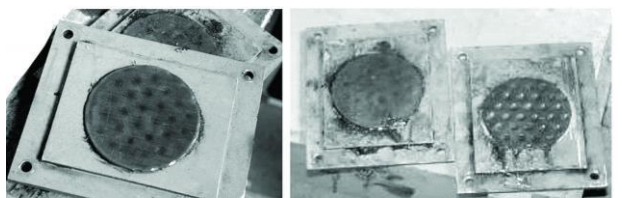


图6 试验到600次时支座材料的磨损情况
Fig.6 Abrasion situation of support material at 600 time

磨损情况见图 6

3 4 有球铰的超高分子量聚乙烯滑板支座

如图 7 所示,在 MTS 推拉过程中,推拉力无明显增加,初始最大拉力为 4 kN,最大推力为 11 kN. 经过约 1 000 次推拉后,推力稍有增加,这主要是由于部分硅脂被挤出后支座摩擦系数增加造成的. 随后趋于稳定,最大拉力仍为 4 kN,最大推力升至 28 kN.

试验中刚性铰能纵向自由伸缩,其运动平顺,无明显的噪声. 推拉至 1 000 次时,由于部分硅脂挤出,支座位置有轻微抖动;至 9 000 次,抖动逐渐明显;至 10 000 次,支座材料发生摩擦损坏. 各支座磨损情况见图 8~ 11. 靠近 J1(固定端侧)的上侧右支座摩擦面部分偏出滑板,压应力增大且受力不均,磨损严重,且右侧比左侧磨损严重. 靠近 J3 的下侧左支座受力,右侧受力偏小,磨损量较小;左侧受力偏大,磨损量较大.

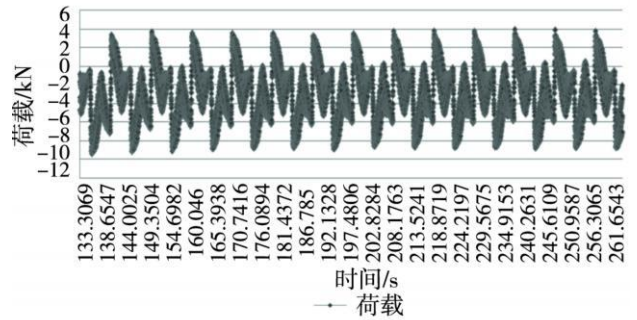


图7 MTS 荷载-时间曲线
Fig.7 Load-time curve of MTS

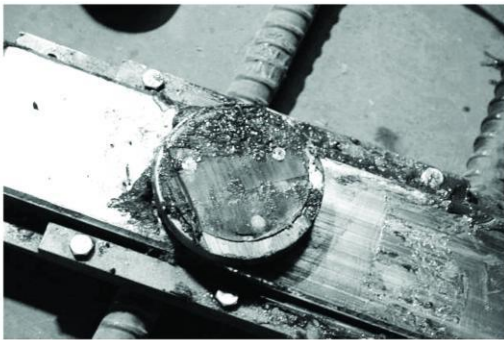


图8 靠近J1的上侧右支座的磨损情况
Fig.8 Abrasion situation of up-right support near J1

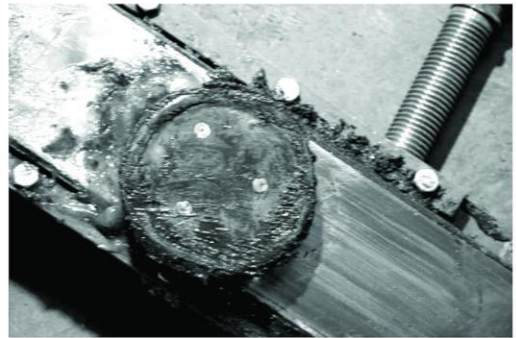


图9 靠近J1的上侧左支座的磨损情况
Fig.9 Abrasion situation of up-left support near J1

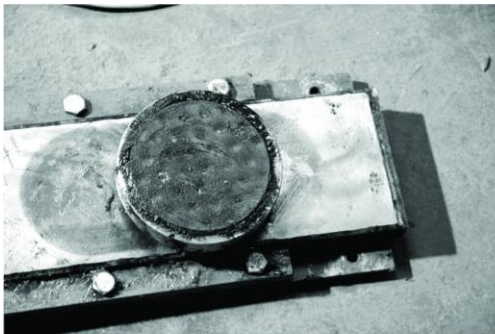


图10 靠近J3的下侧右支座的磨损情况
Fig.10 Abrasion situation of down-right support near J3

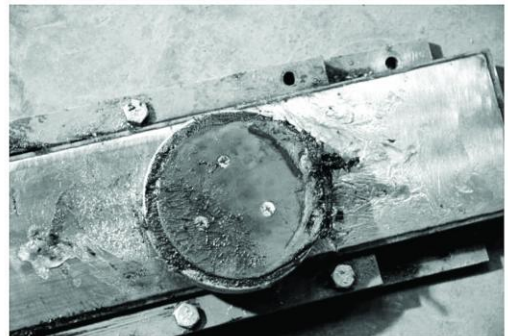


图11 靠近J3的下侧左支座的磨损情况
Fig.11 Abrasion situation of down-left support near J3

3 5 有球铰的聚四氟乙烯滑板支座

如图 12 所示,在 MTS 推拉过程中,推拉力无明显增加. 初始最大拉力为 4 kN,最大推拉力为 11 kN; 经过约 1 000 次后,推拉力稍有增加,随后趋于稳定,最大拉力为 4 kN,最大推拉力为 27 kN.

采用该支座时,刚性铰在工作状态下能纵向自由伸缩,其运动平顺,无明显的噪声;至 1 000 次时,由于部分硅脂挤出,支座位置有轻微抖动,并未出现抖动加剧的现象;至 10 000 次,取出支座发现材料已经因磨损严重而损坏,其磨损状况略好于有球铰超高分子量聚乙烯滑板支座. 试验中根据 MTS 控制设备显示,支座摩擦系数稍小于超高分子量聚乙烯支座. 各支座磨损情况见图 13~ 16

4 小 结

1) 由于刚性铰受力时发生转动, 带有球铰的滑动支座能够自由调节其角度, 保证支座滑动过程中 2 个接触面的均匀密贴, 从而减小摩擦力, 宜采用带有球铰的滑板支座.

2) 采用聚四氟乙烯材料的滑板支座其磨损状况略好于采用超高分子量聚乙烯支座, 这与以前的材料试验结果有所区别. 原因可能是支座在刚性铰这样的复杂结构环境中其运动和受力状态与材料

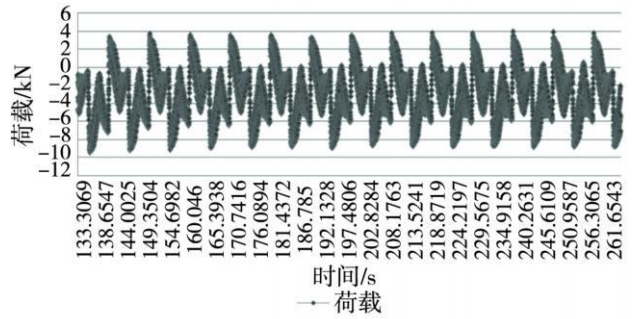


图12 MTS荷载-时间曲线
Fig.12 Load-time curve of MTS

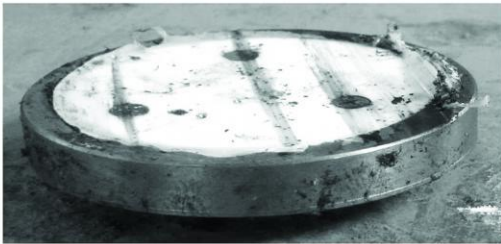


图13 靠近J1的上侧右支座的磨损情况
Fig.13 Abrasion situation of up-right support near J1



图14 靠近J1的上侧左支座的磨损情况
Fig.14 Abrasion situation of up-left support near J1

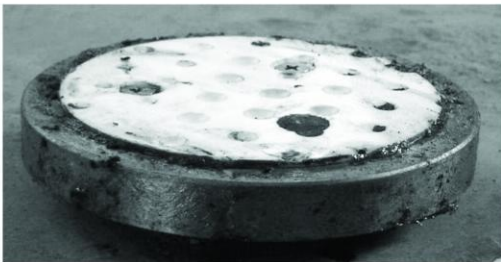


图15 靠近J3的下侧右支座的磨损情况
Fig.15 Abrasion situation of down-right support near J3

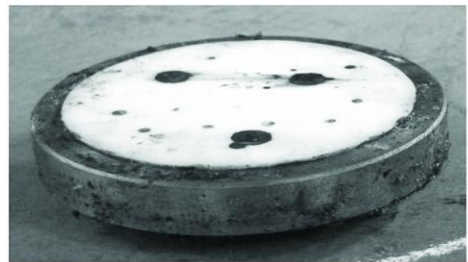


图16 靠近J3的下侧左支座的磨损情况
Fig.16 Abrasion situation of down-left support near J3

试验或单纯的支座试验不同, 在试验中虽然采用了有球铰的支座, 但接触应力的不均匀性仍不可避免地高于单纯材料试验情况, 而这种不均匀接触还导致局部材料温度升高. 2种材料本身的性能差别与这些工作环境的影响相比变为次要因素.

3) 采用超高分子量聚乙烯的大箱梁外部滑板支座(其平均接触应力约为刚性铰内支座平均应力的 56%), 共滑动 20 600次支座没有出现明显的磨损, 且仍能继续工作, 表明支座在工作应力状态下, 其接触应力越小、磨损状况越好.

4) 通过试验发现刚性铰内支座的接触应力对材料耐磨性具有较大影响, 因此可考虑减小刚性铰内支座的压应力, 即增大支座滑动面的面积, 从而提高支座的耐磨性;

5) 由于刚性铰内支座的接触间隙对刚性铰的工作性能有较大的影响, 支座应考虑设置可方便调节支座间隙的装置.

参考文献:

[1] 赵衡平, 郑占利. 公路桥梁伸缩装置设计若干问题探讨 [J]. 公路交通科技, 2007: 109- 111.
[2] 张大鹏. 桥梁支座滑板 聚四氟乙烯、超高分子量聚乙烯摩擦磨损行为的试验研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2008 49
- 52
[3] 李玉凤. 聚四氟乙烯支座滑动摩擦值的安全系数 [J]. 华东公路, 1992(3): 84- 86