

在役桥梁支座性能检测评估与提升技术研究

张精岳,王志强,刘福康

(中交公路长大桥建设国家工程研究中心有限公司,北京市 100088)

摘要:为研究在役桥梁更换下的支座的质损病害和剩余力学性能,该文以某实桥更换下的盆式支座为例,开展其外观、力学性能及原材料检测,确定导致其更换的主要病害产生原因,分析支座病害对其约束混凝土的影响,研究服役旧支座的性能提升技术,并开展力学性能验证。研究结果表明:盆式支座(更换)主要病害为滑板过量磨损,导致支座摩擦系数增大至0.19,改变桥梁原约束体系;采用钢套箍+新滑板的工艺,可实现支座滑板的快速更换,缩短桥梁中断交通时间,且橡胶处于封闭环境中,可避免橡胶的老化现象。

关键词:公路桥梁;试验研究;盆式支座;性能提升

中图分类号:U441+.3

文献标志码:A

0 引言

近年来,中国桥梁发展成就巨大,建成了一大批创造世界纪录的桥梁^[1],如苏通大桥^[2-3]、西堠门大桥^[4-5]、港珠澳大桥^[6-8]、北盘江大桥、南沙大桥等相继建成通车,以及正在筹建的深中通道、张皋过江通道、莲花山跨江通道、黄茅海跨海通道等超大跨桥梁工程,将中国桥梁由大国推向强国,实现了跨越式发展。截至2022年底,中国拥有公路桥梁103.3万座,总长约8 576万延米,其中特大桥8 816座,总长约1 621万延米。通过对100座桥梁运营期事故发生时间进行统计分析^[9-10],寿命大于50年的桥梁不到15%,平均寿命29.36年;截至2024年,30年桥龄的桥梁数量将达到17.9万座,未来桥梁工程将由新建向管养靠拢。

在桥梁结构部件中,支座作为桥梁的“关节”,其可以有效传递桥梁上部结构的竖向荷载、水平荷载^[11-13],并可以适应主梁自由变形和转动。但其在运营过程中受到重载大交通、恶劣环境、安装质量不达标等因素的影响,导致支座在服役过程中过早出现诸多病害,例如,滑板磨损、钢件锈蚀、底盆开裂、橡胶老化^[14-16]等,影响支座正常发挥传递荷载和适应变形的功能,需更换新支座^[18-20]。而多数更换下的支座

被当作废钢进行处理,不仅造成了资源浪费,且支座剩余性能状况无法获知。目前,尽管国内外桥梁检测标准、规范规定了墩、梁、索及附属构件的检测项目、评价指标及养护维修方法^[21-22],但对更换下的装置或构件的检测评价或性能提升方面未作相应的规定,对于该方面的研究工作开展相对较少。

本文通过对某桥梁更换下的已服役25年的盆式支座开展外观、力学性能及材料性能的检测,确定服役支座更换的主要因素。并针对其关键致损点开展性能提升技术研究,以实现旧支座的再制造、再利用,减少资源的浪费。

1 服役支座概况

选取某桥梁上已服役25年更换下的GPZ-6000-e50盆式支座(图1),其设计竖向承载力6 000 kN,滑动位移为 ± 100 mm,上座板平面尺寸1 140 mm \times 1 500 mm \times 50 mm,下座板平面尺寸1 135 mm \times 1 135 mm \times 50 mm,支座高度170 mm。其中,滑板为聚四氟乙烯材料(PTFE),其承载面压较低(设计面压30 MPa),且耐磨损性能较差,在支座使用时需在其表面设置储油坑,并涂抹5201硅脂,以提高其耐磨性能。

收稿日期:2023-08-08

基金项目:中交集团院士专项科研经费项目(编号:YSZX-03-2021-02-B)

作者简介:张精岳,男,硕士,工程师.E-mail:fendou8@126.com

2 支座外观检测

通过对支座进行外观检查,发现其主要存在钢件锈蚀、不锈钢镜面磨损、滑板磨损等方面的病害问题。如图 1~4 所示。



图 1 服役 25 年的盆式支座



图 2 中间钢板锈蚀状况



图 3 不锈钢镜面表面磨损状况



图 4 滑板磨损状况

2.1 钢件锈蚀

由图 1、2 可知:支座在服役过程中,由于防腐涂

层受到外界环境腐蚀介质的破坏,导致支座的上座板、中间钢板及底盆等钢件表面的防腐涂层脱落,且表面出现了不同程度的锈蚀现象,尤其对于中间钢板与不锈钢镜面接触的部位,由于该部位间隙较小,不利于桥梁运营中养护人员对该部位进行补漆,导致该部位的锈蚀相对其他部位严重。

2.2 不锈钢镜面磨损

由图 3 可知:支座不锈钢镜面发生了不同程度的磨损,且在支座水平方向运动范围内的不锈钢镜面磨损较其他区域严重,其主要原因是支座滑板外露 3 mm 磨损殆尽后,不锈钢表面与支座中间钢板顶部发生钢与钢对磨,加剧了不锈钢表面磨损。此外,在支座正常滑动范围外侧的不锈钢镜面的表面被涂刷了防腐油漆涂层,降低了不锈钢镜面的光洁度,导致支座滑动的摩阻力增大。该现象也间接反映了一些桥梁养护人员的技术素养较低,且未经受过岗前技术交底,导致其在支座养护中对不锈钢镜面的表面喷涂防腐油漆。

2.3 滑板磨损

由图 4 可知:滑板磨损较为严重,已基本磨损殆尽,且中间钢板周围有大量的滑板磨屑。其主要原因是传统滑板干磨性能较弱,其表面需涂抹 5201-2 硅脂,以减弱滑板与不锈钢对磨的磨损,但硅脂使用 3~5 年后伴随滑板滑动带出以及自身发生水解而失效,导致滑板与不锈钢镜面发生干磨现象,而普通滑板干磨性能较差,导致滑板过早磨损殆尽。

3 服役支座与材料性能检测

3.1 支座力学性能检测

3.1.1 检测方法与设备

为研究更换下盆式支座的力学性能,依据《公路桥梁盆式支座》(JT/T 391—2019)附录中的检测方法对其开展竖向承载力、摩擦系数等力学性能试验。检测设备为动态测试系统,其配备了竖向、水平及转角 3 个作动器。其中,竖向作动器可提供静压 30 000 kN、静拉 6 000 kN 的荷载,竖向行程 ± 600 mm;水平作动器最大拉压动载 3 000 kN,且可实现峰值速度为 0.7 m/s 的动态性能加载测试;转角作动器可提供静态拉压 1 500 kN 荷载,作动器行程 ± 300 mm,额定转角弧度 0.06 rad,可实现试件厚度为 200~600 mm 的

转角试验。

3.1.2 检测结果

对支座开展力学性能检测,如图5所示。图6为竖向承载力变形曲线。从图6可知:其受到设计荷载6 000 kN作用时,竖向压缩变形为2.12 mm(支座高度170 mm),满足规范的支座压缩变形不应大于支座总高度的2%要求。由此可验证,支座在服役25年后,尽管其各部件的钢件表面发生一定程度的锈蚀,但其各部件结构的强度未发生变化。同时,也可初步推断出支座内部的橡胶承压垫处于封闭环境中,其承压性能未发生显著的变化,即橡胶在封闭的环境中未发生明显的老化现象。



图5 支座力学性能检测

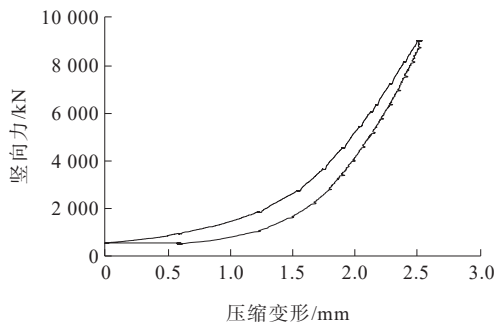


图6 竖向承载力变形曲线

对支座开展摩擦系数试验,其滞回曲线如图7所示。

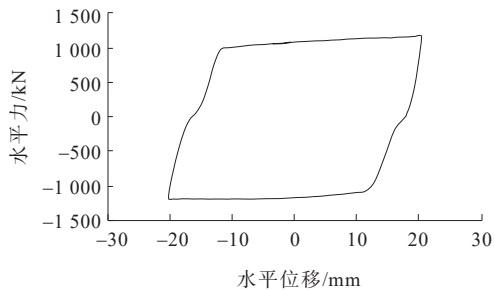


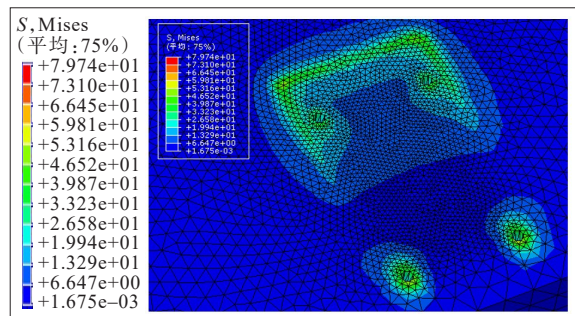
图7 摩擦系数试验滞回曲线

从图7可得:支座滑动至0时的正水平力为1 081

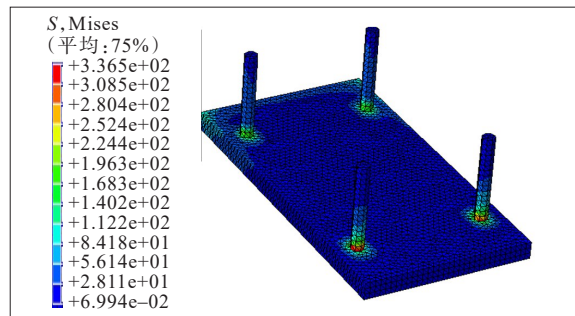
kN,负水平力为1 179 kN,则支座摩擦系数为0.188。根据《公路桥梁盆式支座》(JT/T 391—2019)中5.1.4常温型支座摩擦系数 ≤ 0.03 ,则支座摩擦系数超出规范允许值527%。其主要原因是支座滑板磨损殆尽,支座的不锈钢镜面与中间钢板顶面发生钢与钢对磨现象,且随时间推移,不锈钢镜面的表面发生损伤,导致摩擦系数逐渐增大,并最终稳定较大的摩擦系数。

3.1.3 支座摩擦系数增大的影响

为分析支座摩擦系数变化对支座与横梁连接处混凝土、锚棒局部受力性能的影响,建立支座下座板+混凝土垫石有限元分析模型,假设支座下座板与混凝土垫石完全脱空的极端工况(不考虑切向摩擦阻力),法向为硬接触,分析摩擦系数取0.01(正常支座)、0.03(规范值)、0.05、0.1、0.15、0.19(测试值)等几种工况下支座与横梁连接处混凝土锚棒局部受力情况,结果如图8、9所示。



(a) 混凝土垫石:79.74 MPa



(b) 下座板锚棒:336.5 MPa

图8 摩擦系数0.19时应力图(单位:MPa)

由图9可知:当摩擦系数为0.01时,约束锚棒的锚孔周围混凝土最大压应力7.26 MPa,下座板锚棒的最大应力46.06 MPa;当摩擦系数为0.05时,约束锚棒的锚孔周围混凝土最大压应力25.56 MPa,约束锚棒最大应力150.2 MPa,约束混凝土的压应力已接

近混凝土标准强度(C40);当摩擦系数为0.19时,局部约束混凝土应力79.74 MPa,即约束混凝土有被局部压溃的风险;而约束锚棒最大应力336.5 MPa,已接近屈服强度。

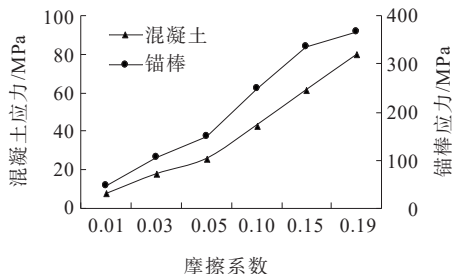


图9 不同摩擦系数的锚棒与混凝土应力

综上所述,支座发生损伤后,其承载能力满足规范要求,而摩擦系数增大了527%。且通过局部结构的有限元分析可知,支座摩擦系数增大对下底板和约束混凝土的影响较大,随着摩擦系数的增加,约束混凝土的压应力逐渐增加,当摩擦系数为0.19时,约束混凝土有被局部压溃的风险,应加强对支座约束混凝土的检测,防止混凝土被局部压溃。

3.2 材料性能检测

为了研究橡胶在盆式支座的钢盆内部封闭环境中的老化情况,针对橡胶材料进行硬度、拉伸强度、断裂伸长率等物理力学性能试验。同时,为了验证不同层位的橡胶老化程度,分别对上层、中层、下层3个部位的橡胶进行物理力学性能试验测试。

3.2.1 硬度

在橡胶硬度测试时,对切割的旧橡胶表面进行擦拭,确保表面清洁。然后采用电子数显国际橡胶硬度计进行硬度指标的测试(图10)。

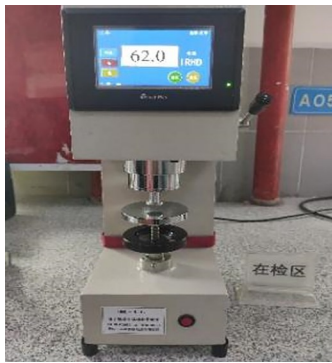


图10 橡胶硬度指标试验测试

通过对上、中、下3个部位的橡胶硬度测试,得到的旧橡胶硬度分别为64 IRHD、62 IRHD、64 IRHD。

经与《公路桥梁盆式橡胶支座》(JT 391—1999)规范中天然橡胶硬度指标(60±3)IRHD对比,上下层橡胶硬度略比规范要求偏大,而中层橡胶满足规范要求。

3.2.2 拉伸强度

在进行拉伸强度测试前,需将试样放置在恒温箱内(23℃)保温24 h,然后进行拉伸强度测试。采用万能试验机进行拉伸强度测试,上、中、下不同位置分别取3片试样进行测试。样品如图11、12所示。

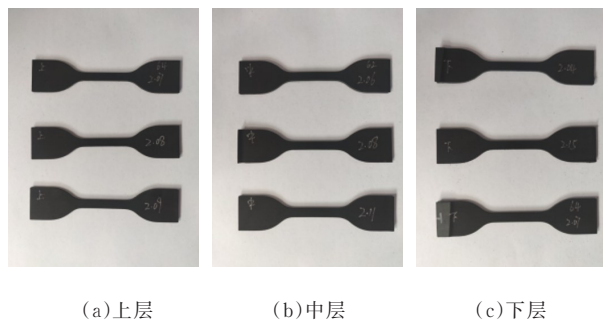


图11 测试试样(试验前)

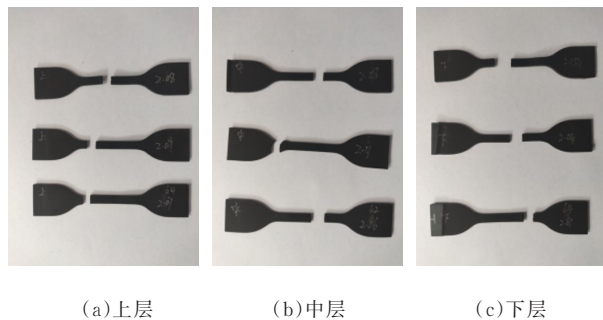


图12 测试试样(试验后)

通过对上、中、下3个不同位置的试样进行拉伸强度测试,得到的拉伸强度结果如表1所示。从表1可知:上层橡胶试样测得的拉伸强度最小,其拉伸强度约为规范值(JT 391—1999中为18 MPa)的70.8%,性能降低了29.2%,而下层的橡胶试样拉伸强度最大,中层、下层橡胶性能分别降低了12.7%、8.1%。因此,可得出内置的橡胶承压垫,其上层受到支座中间钢板与底盆间隙传递的环境介质的影响,发生了一定程度的老化现象,下层处于封闭空间内,从上向下老化程度逐渐降低。此外,可初步得出橡胶预防老化的措施,除了优化橡胶材料配比外,还可以增加防护措施(如防护罩),延缓橡胶老化速率。

表1 拉伸强度测试结果

位置	拉伸强度/MPa					性能降低/ %
	第1片	第2片	第3片	中值	规范值	
上层	12.75	15.05	7.33	12.75		29.2
中层	15.72	10.22	16.43	15.72	≥18	12.7
下层	16.80	16.55	15.25	16.55		8.1

(3) 断裂伸长率

断裂伸长率与拉伸强度测试设备和试样尺寸相同。通过测试,得到的断裂伸长率结果如表2所示。

表2 断裂伸长率测试结果

位置	断裂伸长率/%					性能降低/ %
	第1片	第2片	第3片	中值	规范值	
上层	378	418	257	378		16.0
中层	424	303	451	424	≥450	5.8
下层	449	447	426	447		0.7

由表2可知:上、中、下层的橡胶断裂伸长率分别为378%、424%、447%,其表现出的老化规律与拉伸强度测得的老化规律基本一致,上层(表层)橡胶老化程度相对较大一些,与规范值相比,性能降低了16%,而下层(底层)橡胶基本未发生老化,性能下降了0.7%。

综上所述,通过对服役25年的橡胶承压垫开展上、中、下3个不同部位的物理力学性能试验,可初步得出上层(表层)橡胶发生了一定的老化现象,其中拉伸强度性能与规范值相比,降低了29.2%,而断裂伸长率降低了16.0%;下层(底层)橡胶基本未发生老化。此外,该橡胶的硬度指标与规范值基本吻合。

4 支座性能提升技术研究

由于支座损伤主要表现为滑板磨损,导致摩擦系数增大,因此,更换滑板是服役支座性能提升措施之一。但在桥梁上进行滑板更换,需顶升支座顶板后测量滑板,不仅测量误差大,且需测量后再剪裁滑板,其更换周期较长,成本高。基于此,提出了一种“钢套箍+新滑板”的快速滑板更换方式。

4.1 结构组成

钢套箍+新滑板的结构方案如图13所示,由钢圈套箍与新滑板组合而成,其中钢圈套箍外侧设置了用于焊接的半圆形破口;钢圈强度等级应不低于

支座本体的钢材强度。

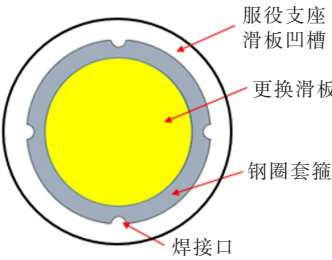


图13 钢套箍+新滑板方案

4.2 试验验证

通过对“钢套箍+新滑板”方案开展幅值±50 mm,频率0.01 Hz的摩擦滞回测试,验证该方案在支座水平方向滑动过程中滑板是否脱出以及滑板的摩擦系数等。

图14为“钢套箍+新滑板”与旧支座在相同测试工况条件下得到的摩擦滞回曲线。从图14可知:采用钢套箍+新滑板的方案测得摩擦系数为0.026,其结果满足规范要求,且与旧支座的摩擦系数相比降低了86.2%。

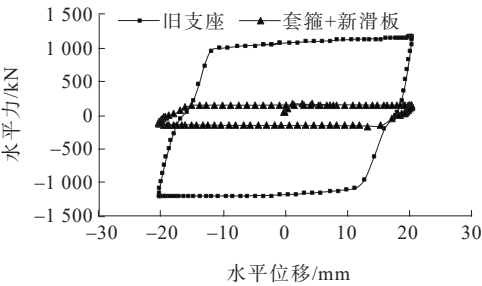


图14 摩擦系数测试曲线

图15为“钢套箍+新滑板”的支座在试验后滑板表面状态,从图15可知:滑板在经过多次摩擦测试后,其表面光滑,无磨损,滑板无脱出;同时,套箍圈未出现变形,且焊接部位未出现断裂、裂纹,表明套箍+滑板的方案基本可行。

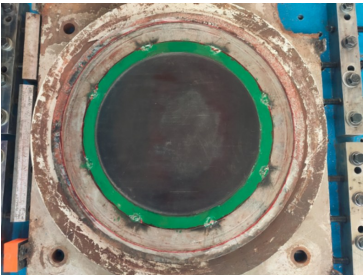


图15 试验后滑板表面状态

5 结论

随着桥梁支座服役时间的增长,使用环境的逐渐恶化,重载交通的逐年增多,导致桥梁支座过早出现各种病害,严重影响其服役状态时,需要适时更换新支座。通过对在役桥梁更换下的支座开展外观、力学性能及材料检测,并开展性能提升技术研究,得出如下结论:

(1) 钢支座服役过程中表现病害为钢件锈蚀、不锈钢镜面磨损、滑板磨损等,而导致支座更换的主要病害是滑板过量磨损,其造成支座滑动摩阻力增大,增加了支座锚棒周围约束混凝土被挤碎的风险,且改变桥梁原约束体系。

(2) 通过对服役 25 年的支座内置橡胶承载板开展上、中、下 3 个不同部位的物理力学性能试验,可得出上层(表层)橡胶发生了一定的老化现象,其中拉伸强度性能与规范值相比,降低了 29.2%,而断裂伸长率降低了 16.0%;下层(底层)橡胶基本未发生老化。

(3) 采用钢套箍+新滑板的工艺,可实现对旧支座滑板的快速更换,且通过对再制造的支座开展力学性能试验,其滑板表面无损伤,套箍无变形、断裂,且支座力学性能指标满足规范要求,表明该方案具有一定的工程应用推广价值。

参考文献:

- [1] 张喜刚,刘高,马军海,等.中国桥梁技术的现状与展望[J].科学通报,2016,61(S1):415-425.
- [2] 姚蓓,张启伟.钢斜拉桥运营期耐久性与易损性监测[J].中外公路,2016,36(1):90-94.
- [3] 王浩,邹仲钦,陶天友,等.苏通大桥实测典型台风特性对比分析[J].东南大学学报(自然科学版),2018,48(2):342-349.
- [4] 黄斌.西堠门大桥钢箱梁局部轮压试验研究[J].中外公路,2012,32(4):145-149.
- [5] 李言哲.基于健康监测的西堠门大桥动力特性与涡振性能研究[D].长沙:湖南大学,2020.
- [6] 赵桂峰,马玉宏,简涛,等.摩擦摆支座性能劣化对港珠澳隔震桥梁全寿命期抗震性能的影响[J].中国公路学报,2016,29(12):10-16.
- [7] 朱定,李书亮.港珠澳大桥钢桥面铺装方案比选及浇注式沥青混合料(GMA)标准化施工工艺控制[J].中外公路,2019,39(2):161-164.
- [8] 景强,郑顺潮,梁鹏,等.港珠澳大桥智能化运维技术与工程实践[J].中国公路学报,2023,36(6):143-156.
- [9] 周方,张明媛,袁永博.中美公路桥梁检测及评价方法对比研究[J].中外公路,2016,36(2):86-91.
- [10] 秦泗凤.近期中国桥梁水毁事故回顾与分析[J].中外公路,2022,42(1):133-138.
- [11] 黄勇,王君杰,韩鹏,等.考虑支座破坏的连续梁桥地震反应分析[J].土木工程学报,2010,43(S2):217-223.
- [12] 王晟,宁平华,王荣辉,等.支座位置整体节点设计优化研究[J].中外公路,2022,42(3):74-79.
- [13] 唐志,马白虎,杜宾,等.平塘大桥特殊支座设计与试验研究[J].中外公路,2023,43(1):114-118.
- [14] 刘渊,朱建明,张占超.板式橡胶支座检查、评定和养护对策研究[J].交通世界,2017(17):100-102,104.
- [15] 石秋君.既有铁路桥梁支座病害分析及改造方法[J].铁道建筑,2017,57(10):12-14,25.
- [16] 罗乐根,张迅,张精岳.支座滑板磨损对多塔斜拉桥抗震性能影响研究[J].中外公路,2022,42(3):104-109.
- [17] 李红,宫小能,谢建平.桥梁支座使用寿命影响因素[J].公路,2017,62(3):144-145.
- [18] 孟杰,刘钊,周明华.曲线梁桥支座脱空成因分析及设计探讨[J].中外公路,2021,41(2):73-76.
- [19] 张精岳,王志强,刘福康.摩擦摆支座磨损对长联大跨连续梁桥抗震性能的影响[J].中外公路,2022,42(5):145-150.
- [20] 逯宗典,黄威.简支转连续梁桥支座病害处置方法研究[J].中外公路,2020,40(6):136-139.
- [21] 交通运输部公路科学研究院.公路桥梁技术状况评定标准:JTG/T H21—2011[S].北京:人民交通出版社,2011.
- [22] 中交公路规划设计院有限公司,中交公路长大桥梁建设国家工程研究中心有限公司,江苏万宝桥梁构件有限公司.公路桥梁盆式支座:JT/T 391—2019[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2019.