第26卷 第3期 石家庄铁道大学学报(自然科学版) Vol. 26 No. 3
2013年9月 JOURNAL OF SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY (NATURAL SCIENCE) Sep. 2013

刘庄斜拉桥的检测与分析

韩宗泽

(天津市道路桥梁管理处 质量监督站,天津 300221)

摘要: 由于斜拉索的防护技术的限制,随着桥龄的增长,斜拉桥不可避免地会出现斜拉索腐蚀问题。通过对刘庄斜拉桥的常规及结构定期检查结果的分析,确定了该桥的技术状况等级,提出了维修建议,对现有同类桥梁的管理有一定的借鉴意义。

关键词: 斜拉桥; 定期检查; 斜拉索病害; 索力; 桥面线形变化

中图分类号: U446 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-0373(2013)03-0027-06

1 工程概况

刘庄斜拉桥全长121.75 m,上部结构采用工字形组合钢梁与混凝土桥面板组成的组合梁结构,跨径布置为:32 m+71.85 m+12.04 m。桥塔为钢筋混凝土结构,斜索为扇形双面索。结构体系为塔梁分离的漂浮体系,其中0#墩采用GPZ-C-SX-3000 kN支座,1#墩采用弹性约束,2#墩采用GPZ-C-SX-2500 kN支座,3#墩采用GPZ-C-SX-1000 kN支座。0#桥台锚索部位设置大型配重块(700 t)。防水层采用涂膜防水层,沥青铺装层再厚3 cm。桥梁结构立面布置见图1。

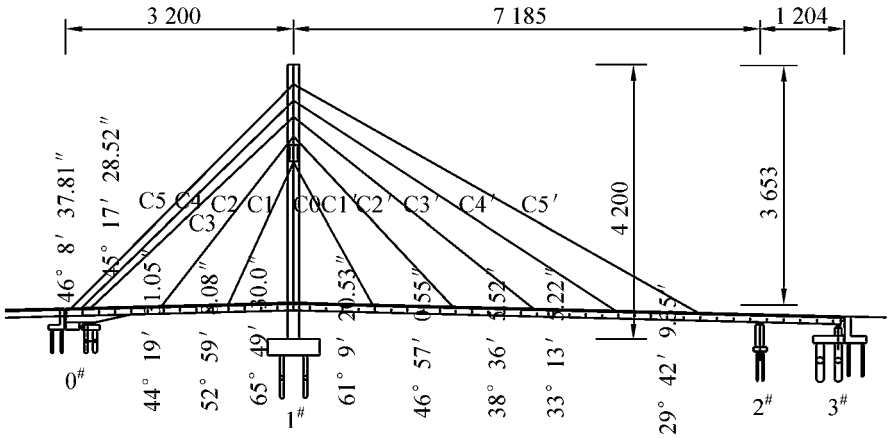

图1 刘庄桥结构立面布置图(单位:cm)

桥塔采用H形钢筋砼结构,塔高42 m,塔顶距桥面36.53 m,分倾斜段与垂直段两部分(自承台顶面计),自承台顶至横梁底27 m略带倾斜,倾斜度为1/15.428,横梁底至塔顶15 m为直立段,两塔柱的中心距塔根处为16.5 m,垂直段为13.0 m,塔柱截面为(1.8×2.0) m实体等截面,横梁截面为(1.5×3.0) m,设8根Φi15预应力钢筋。塔柱采用高桩承台基础,14根Φ1.2 m灌注桩,长52.5 m;塔顶设有避雷装置。

本桥的斜拉索采用Φ5光面高强平行钢丝,冷铸锚具和挤压式高密度聚乙烯防腐。全桥共22根斜拉索,规格见表1。

2 检测内容

检测内容分两部分:常规定期检查、结构定期检查。其中桥梁常规定期检查包括:斜拉索系统检查、

收稿日期:2012-12-19
作者简介:韩宗泽 男 1980年出生 工程师

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

上部结构检查、下部结构检查、桥面系检查;结构定期检查包括:索力检测、桥面线形检测、索塔检测、混凝土强度检测。

表1 斜拉索规格表

索号	C5	C4	C3	C2	C1	C0	C1′	C2′	C3′	C4′	C5′
索体丝数	163	163	163	85	85	85	85	121	121	163	121
长/m	49.85	47.00	44.14	34.97	26.68	25.31	26.88	36.79	47.55	58.86	70.52
根数/个	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

3 检测结果

3.1 常规定期检查

常规定期检查中,发现斜拉索系统病害比较严重,其它病害除桥面铺装横纵向开裂损坏较严重外,其余均能通过小修或局部维修手段解决,由于篇幅的限制,重点对斜拉索系统的病害进行介绍,其它不再赘述。斜拉索系统主要包括:护套、上锚头、下锚头、钢丝束。

3.1.1 拉索护套检测

斜拉索主要病害为:拉索护套开裂4处,其中,严重环形开裂、露出钢丝1处;凹槽7处;划痕13处,其中,严重斜向开裂露出钢丝1处。

3.1.2 锚具检测

(1)下锚头检测。现场逐一打开刘庄桥的上、下游索下锚头封板,检查锚具及钢丝的外观质量。发现锚具内部:2个拉索下锚头锚具及外露钢丝端部有锈迹;2个锚具的封板有锈迹;2个拉索下锚头锚具与内部垫板间的缝隙有锈迹。下锚头锚具见图2,下锚头钢丝锈蚀见图3。

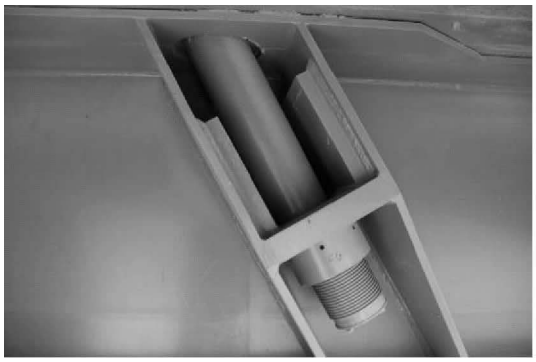

图2 C1′上游索下锚头锚具

图3 C1′上游索下锚头钢丝锈蚀

(2)上锚头检测。抽检上游C1′索上锚头及下游C4′索上锚头,主要病害为:上锚头的锚槽潮湿,锚杯内部环境潮湿,锚杯钢垫板锈蚀达5 mm,上游C1′索钢丝端部有浮锈。上锚头钢丝端部浮锈见图4、图5。

图4 上游侧C1′索上锚头

图5 下游侧C4′索上锚头

3.1.3 钢丝束检测

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

根据下锚头病害、护套开裂情况，对下游 C5 索、上游 C1′索、下游 C3′索、上游 C5′索护套局部开槽，对该位置钢丝外观质量进行检查，发现 PE 护套变硬、变脆。下游 C5 索，在距离桥面 0.6 m 处，顶面有宽 0.5 mm、长约 7 cm 纵向开裂; 距离桥面 1 m 处，有宽 0.5 mm、长约 5 cm 的环向开裂，且露出的 8 根钢丝，4 根浮锈，见图 6。上游 C1′索下锚头，锚杯内钢丝头锈蚀，距离桥面 0.5 m 处开槽检查，钢丝完好。下游 C3′索，锚头锚具及封板锈迹，距离桥面 0.5 m 处开槽检查，钢丝完好。下游 C5′索，距桥面 2 m 处，有环向裂缝，长 10 cm，、宽 1 cm、深约 1 cm，可见内部钢丝; 开槽检查，露出的 11 根钢丝全部锈蚀，其中 4 根钢丝截面损失达 50%，见图 7。

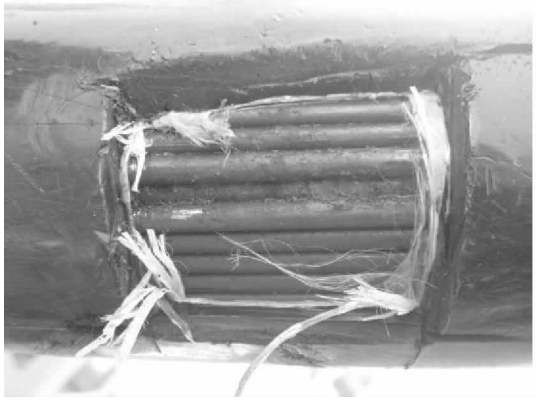

图 6　下游 C5 索侧面内部钢丝

图 7　下游 C5′索 PE 护套打开情况

3.2　结构定期检查

3.2.1　索力检测

由于索的长细比均大于 250，所以采用频率法进行刘庄桥的索力测试，测量误差在 5% 以内。2012 年 8 月 8 日早 7 点，对斜拉索索力进行了测试，温度为 25 ℃，风力为 2 ~ 3 级，斜拉索索力测量值见表 2。

表 2　斜拉索索力测量值

斜拉索索号	实测索力/kN	竣工索力/kN	索力变化/%	极限拉力/kN	安全储备
C5 上游侧	2 263.1	1 859.1	21.73	5 120	2.3
C5 下游侧	2 197.1	1 859.1	18.18	5 120	2.3
C4 上游侧	2 065.0	2 107	−1.99	5 120	2.5
C4 下游侧	1 934.1	1 857.1	4.14	5 120	2.6
C3 上游侧	1 916.1	1 857.1	3.17	5 120	2.7
C3 下游侧	1 877.1	1 857.1	1.07	5 120	2.7
C2 上游侧	877.1	871.2	0.67	2 670	3.0
C2 下游侧	845.1	781.1	8.18	2 670	3.2
C1 上游侧	1 206.1	1 072.1	12.49	2 670	2.2
C1 下游侧	1 258.1	1 146.6	9.72	2 670	2.1
C0 上游侧	880.1	831	5.90	2 670	3.0
C0 下游侧	809.1	767.3	5.43	2 670	3.3
C1′上游侧	1 261.6	1 163.3	8.45	2 670	2.1
C1′下游侧	1 091.3	1 163.3	−6.19	2 670	2.4
C2′上游侧	1 268.1	1 252.4	1.25	3 800	3.0
C2′下游侧	1 338.1	1 252.4	6.83	3 800	2.8
C3′上游侧	1 176.1	1 085.8	8.31	3 800	3.2
C3′下游侧	1 140.1	1 085.8	4.99	3 800	3.3
C4′上游侧	1 808.1	1 869.8	−3.31	5 120	2.8
C4′下游侧	1 739.1	1 869.8	−7.00	5 120	2.9
C5′上游侧	1 571.1	1 707.2	−7.98	3 800	2.4
C5′下游侧	1 528.1	1 707.2	−10.50	3 800	2.5

本次实测索力与竣工索力比较，上游 C5 索索力增加 21.7%，下游侧 C5 索索力增加 18.2%; 大桩号侧 C4′、C5′索索力均减小。目前全桥上下游实测索力和为 32 047.9 kN，比竣工时全桥实测索力值和 31 022.8 kN 增加 3.3%，由于桥梁建成后在梁底布设了过河管线，增加了桥梁恒载，引起了全桥索力和的

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

增加。

3.2.2 桥面线形测量

线形测量以0#桥台处伸缩缝上游外侧点为控制点,按刘庄桥竣工时建立的观测点进行观测,测量高程与竣工高程进行对比,结果如表3所示,竣工值与实测值比较见图8、图9。

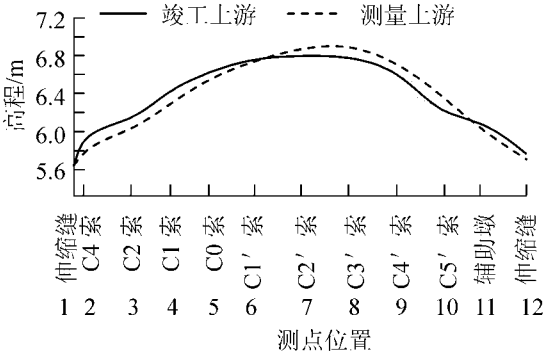

图8 上游观测点处竣工与实测值比较图

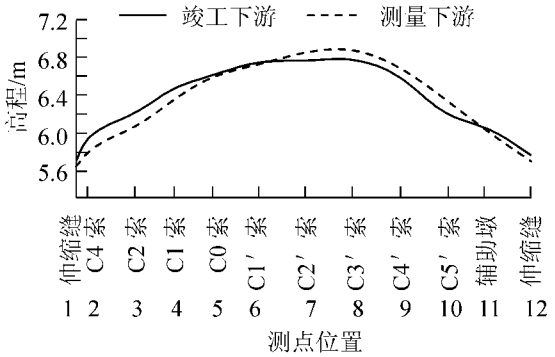

图9 下游观测点处竣工与实测值比较图

表3 刘庄桥观测数据表 m

测点号	斜拉索	竣工值		测量值	
		下游	上游	下游	上游
1	伸缩缝	5.762	5.762	5.701	5.706
2	辅助墩处观测点	6.051	6.079	6.035	6.038
3	C5′索	6.192	6.215	6.321	6.346
4	C4′索	6.574	6.601	6.674	6.707
5	C3′索	6.763	6.773	6.863	6.886
6	C2′索	6.756	6.794	6.837	6.866
7	C1′索	6.733	6.755	6.714	6.737
8	C0索	6.599	6.617	6.573	6.538
9	C1索	6.455	6.419	6.337	6.29
10	C2索	6.205	6.148	6.061	6.034
11	C4索	5.92	5.9	5.78	5.773
12	伸缩缝	5.648	5.646	5.651	5.646

从测量结果可以看出,与竣工线形相比,实测线形有一定变化,实测线形比较平顺。最大沉降值为14.4 cm,发生在C2索观测点处;上游C5′索处升高了13.1 cm。上游及下游线形的变化趋势图相同,如图10所示。

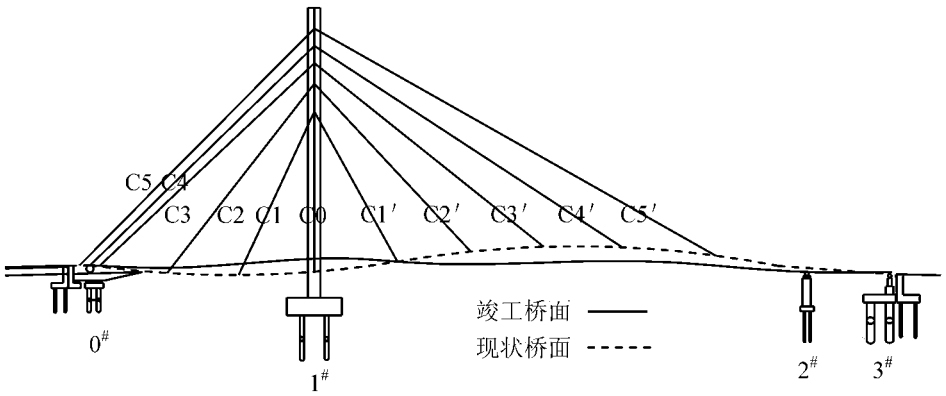

图10 刘庄桥线形变化示意图

3.2.3 索塔偏移测量

对主塔顺桥向的偏移量进行测量。倾斜观测点已经损坏,取塔柱的中心线位置进行测量。测量值与竣工倾斜值相比较,上、下游侧塔柱均向大桩号方向倾斜,倾斜值分别为1.4 mm、18 mm。

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

索塔的倾斜度应控制在 $H/3\ 000$，且不大于 30 mm[1]。对于本桥，$H/3\ 000$ 为 14 mm，从测量结果可看出，下游侧索塔偏移超出规范规定范围不多。因为测量值与竣工值测点不同，去除施工误差，可认为塔柱倾斜符合规范要求。

3.2.4　混凝土构件无损检测

根据现场情况，对桥面板、塔柱、横梁用回弹法进行混凝土强度检测，强度推定值符合设计要求。回弹法只对混凝土龄期在 14 ~ 1 000 d 内的有效[2]，而该桥建成至今运营已有 21 a，因此各构件混凝土强度推定值仅供参考。

4　病害分析

刘庄斜拉桥目前存在的主要病害有: 桥面铺装纵横向裂缝、斜拉索系统病害、部分索力变化较大、桥面线形变化较大。分析原因如下。

4.1　桥面铺装病害

刘庄斜拉桥铺装存在大量的纵横向裂缝，主要有以下原因:

(1) 沥青混凝土桥面铺装厚度仅 3 cm，且经过了 21 a 的风吹日晒，铺装老化。

(2) 刘庄桥梁体为柔性体系，刚度相对较小，车辆荷载引起的振动效应比较明显。

(3) 汽车荷载造成轮迹带附近的横隔板应力集中，随着通车时间的延长，疲劳裂缝逐渐增多。

4.2　斜拉索系统病害

斜拉索系统的病害主要包括: 护套开裂、钢丝锈蚀、锚具锈蚀。病害原因如下:

(1) 护套开裂除了外伤原因外，就是老化开裂。根据当时规范的规定，耐环境压力开裂 ≥1 500 h[3] (根据人工加速老化试验的光照条件，试验箱中的 200 h 相当于大气环境中 1 a，按照耐环境应力开裂 1 500 h 计算，其 PE 的老化寿命也只有 7.5 a)。刘庄桥寿命已经 21 a，斜拉索护套超出设计寿命 13 a。

(2) 护套开裂后，钢丝处于腐蚀环境，在交变拉应力作用下，会加剧腐蚀，即应力腐蚀现象。一般情况下，无镀锌钢丝 6 ~ 8 a 即锈断。

(3) 锚具外部密封性不好、锚箱潮湿、雨雪、冷凝水等均会造成锚具锈蚀。

要提高斜拉索系统寿命，重点是提高系统的防腐性能。斜拉索系统采用高耐候性的进口 PE，镀锌并内填充防腐化合物的复合型平行钢丝，施工中注意对拉索保护，在交变应力作用下仍能保持良好密闭性的锚具，可以提高寿命到 50 a。

4.3　索力及桥面线形变化

长索索力减小，短索索力增加; 均重块一侧桥面下沉，另一侧桥面升高。主要原因为:

(1) 由于塔柱及墩台的桩基础、承受荷载不同，会出现不均匀沉降。

(2) 0#桥台位置配重块的长期作用，斜拉索发生徐变，造成了索的伸长量的变化。

(3) 短索刚度较大，恒载增加后，短索承担的索力偏大。

5　结语

根据刘庄斜拉桥的常规定期检查及结构定期检查，可以得出以下结论:

(1) “各种桥梁有下列情况之一时，即可直接评定为不合格级桥和 D 级桥[4]”中的第 13 款“斜拉桥拉索、锚具损伤”的规定，该桥下游 C5 索、下游 C3 索、下游 C5′索有损伤，该桥技术状况等级评估为不合格级。

(2) “运营状态斜拉索的安全系数不应小于 2.5[1]”，上下游的 C5、C1、C1′索及上游侧 C5′索安全系数在恒载作用下的安全系数已经小于 2.5，因此不符合规范要求。

(3) 桥面线形平顺，但是与竣工线形相比，变化较大。

刘庄桥斜拉索护套已经超出设计使用寿命; 钢丝寿命已经超出目前已换索桥梁的平均寿命(16 a); 斜拉索的分丝板位置是斜拉索的薄弱部位，却无法进行检查。(下转第 36 页)

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[5] 闻邦椿. 机械设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社,2010: 163-169.
[6] European Standrard. BS EN 1337-7 Structural bearings. Spherical and cylindrical PTFE bearings[S]. London: British Standards Institution,2001.
[7] European Standrard. BS EN 1337-2 Structural bearings. Sliding elements[S]. London: British Standards Institution,2001.
[8] 铁道第三勘察设计院. TB10002.1—2005 铁路桥涵设计基本规范[S]. 北京: 中国铁道出版社,2005.

Research and Design of Rotating Mechanism of Spherical Bearing

Yan Zhenlin

(China Railway Fifth Survey and Design Institute Group Co.,Ltd,Beijing 102600, China)

Abstract: The side sliding contact of Spherical bearing becomed line from surface when bearing was rotated, this easied to bring about the destruction of the friction surface. To solve this proble, the rotation mechanism is added in the laterally movable bearing in this paper. The mechanism was provided a rotation block between the upper and lower plate, sliding material that rubbed with the upper plate was fixed on the side of rotation block, it was used to completed the bearing lateral displacement. The other side of rotation block contacted with the arc of lower support plate, it was used to completed the bearing angle. The rotating mechanism can not only avoid the destruction of friction surface when bearing was rotated, but also can meet the bearing requirements of displacement and rotation. Based on the analysis of bearing movement and force state, the most unfavorable state of rotation mechanism was found. On this state, the upper plate stopper, skateboards and arc stress is calculated in this paper, the conclusion is that the calculation results meet design repuirements.

Key words: spherical bearing; rotating mechanism; rotation block; stress; friction pair

(责任编辑 刘宪福)

(上接第31页)

基于以上分析及结论,从安全角度考虑应该进行换索,调整索力及线形。由于刘庄斜拉桥因交通导行原因,目前仅供行人通行,因此建议先更换桥面防水及铺装;开放汽车荷载前应先更换斜拉索。

参 考 文 献

[1] 重庆交通科学设计院. JTG/T D65-01—2007 公路斜拉桥设计细则[J]. 北京: 人民交通出版社,2007.
[2] 陕西省建筑科学研究设计院. JGJ T23—2001 回弹法检测混凝土抗压强度技术规程[J]. 北京. 中国建筑工业出版社,2001.
[3] 上海市政工程设计研究院. CJ/T3058—1996 塑料护套半平行钢丝拉索[J]. 北京. 中国建筑工业出版社,1996.
[4] 北京市市政工程管理处. CJJ 99—2003 城市桥梁养护技术规范[J]. 北京. 中国建筑工业出版社,2003.

Detection and Analysis of Liuzhuang Cable-stayed Bridge

Han Zongze

(Tianjin Road and Bridge Administration Office,Tianjin 300070, China)

Abstract: Due to the technical limitations of the cable protection, with the growth of age, the cable of the cable-stayed bridge will inevitably be corroded. This paper analyzes the results of routine regular examination and structure regular examination of the Liu Zhuang cable-stayed bridge, confirming the technical condition levels of the bridge, and putting forward the maintenance suggestions too, which will provide instructive reference for the management of similar bridge.

Key words: cable-stayed bridge; regular examination; stayed-cable disease; cable force; shape change of bridge floor

(责任编辑 刘宪福)

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net