

连续梁桥滑动支座安装方向设计及施工控制

关长禄,孙秀东,董浩,王兴舟

(吉林省交通运输综合执法局交通建设质量监督分局,吉林长春 130021)

摘要:连续梁桥可改善结构受力状况,提高结构承载能力以及行车舒适性,但部分连续梁桥出现支座错位、上部扭转、防震挡块破损等病害,为查找目前设计、施工控制中存在的不足,该文对病害进行了深入分析。研究表明:产生该病害的主要原因是双向滑动支座(近总数的一半)不能提供水平力,单向滑动支座的主滑动方向与桥梁上部结构变形不一致。该文综合考虑了桥梁上部结构的温度变形、材料收缩、弹性压缩、徐变以及施工工序控制等因素,提出连续梁桥支座设计安装方向的控制措施和侧向限位板后期安装或调整的新方法;提出滑动支座的主滑动方向应同滑动支座与固定支座的连线一致,这样在满足结构变形的同时,可以减少双向滑动支座的数量,增加单向滑动支座数量,为桥梁上部结构提供更多的水平约束,以满足结构变形、受力和抗震要求。

关键词:连续梁桥;滑动支座;限位板方向;安装调整

中图分类号:U445.4

文献标志码:A

Installation Direction Design and Construction Control of Sliding Bearing of Continuous Girder Bridge

GUAN Changlu, SUN Xiudong, DONG Hao, WANG Xingzhou

(Quality Supervision Branch Bureau of Traffic Construction, Jilin Provincial Transport Comprehensive Administration Law Enforcement Bureau, Changchun, Jilin 130021, China)

Abstract: Continuous girder bridges can improve the structural stress, increase the structural bearing capacity, and promote ride comfort. However, some continuous girder bridges suffer from issues such as bearing dislocation, upper torsion, and damage to seismic arrestors. To identify deficiencies in current design and construction control, an in-depth analysis of these issues was conducted. The findings reveal the main reason is that the bidirectional sliding bearings (nearly half of the total) fail to provide horizontal force, and the main sliding direction of the unidirectional sliding bearings is inconsistent with the deformation of the bridge superstructure. In this paper, factors including temperature-induced deformation, material shrinkage, elastic compression, creep, and construction process control of the bridge superstructure were taken into consideration. Control measures for the design and installation direction of continuous girder bridge bearings and new methods for the later installation or adjustment of lateral limit plates were proposed. The paper suggests that the main sliding direction of bearings shall be consistent with the line connecting the sliding and fixed bearings. This approach reduces the number of bidirectional sliding bearings while increasing unidirectional sliding bearings, providing greater horizontal constraints for the bridge superstructure, which allows for structural deformation accommodation and improves stress distribution and seismic performance.

Keywords: continuous girder bridge; sliding bearing; limit plate direction; installation and adjustment

0 引言

随着桥梁工程设计与施工技术水平的不断提

高,为改善桥梁上部结构受力状况,提高结构的承载能力,改善桥梁行车的舒适性,目前桥梁上部结构设计大量采用连续梁结构形式,尤其是桥梁存在弯、

坡、斜、变宽时经常采用现浇连续箱梁^[1-5],如公路、城市道路的互通匝道曲线段桥梁多采用现浇连续梁结构。然而,此类桥梁在运营期间常发生上部结构异常变位,如限位槽卡死或损坏、支座错位、上部结构扭转、防震挡块破损(图1、2)等病害,使桥梁存在结构和运营安全隐患,增加了桥梁运营、养护管理的难度,亟须开展相关研究并寻求解决方案。



图1 单向支座导轨和限位槽卡死或限位板损坏

Figure 1 Jamming of unidirectional bearing guide rail and limit slot or damage to limit plate



图2 上部结构扭转超出支座滑动范围导致减震挡块破损
Figure 2 Damage to seismic arrestor resulting from torsion in superstructure exceeding bearing's sliding range

1 桥梁支座设计现状

目前,连续梁桥常见的上部结构主要有梁先简支后结构连续(简支转连续结构)和现浇连续梁两种结构形式。其上部结构的变形应考虑温度变化、汽车制动力、梁挠曲、结构(混凝土)收缩、预应力压缩、徐变和地震等多种因素的作用。因桥梁连续结构施工工艺不同,桥梁在正常施工、使用情况下,其结构变形规律有明显差异,如简支转连续结构在预制梁安装时混凝土因预应力压缩、材料收缩、徐变变形已基本完成,结构转连续完成后主要是温度、汽车制动力和梁挠曲变形,而现浇连续梁结构浇筑完工后,结构仍会发生温度变化、材料收缩、预应力压缩、徐变、汽车制动力、梁挠曲变形等^[6-15]。由于结构材料、施工工艺以及桥梁平面线形等的多样性,上部结构在

施工和运营期间的结构变形产生较大差异,设计、施工中很难准确把握桥梁滑动支座的安装方向。

以公路桥梁结构设计为例,通常设计时每一联连续梁设置一个固定支座,多个单向和双向滑动支座,直线段连续梁的支座设计安装方向是固定支座对应的横桥向单向滑动支座为路线法线方向、纵桥向单向滑动支座设计安装方向为路线纵向方向,其他为双向滑动支座(图3),曲线连续梁固定支座对应的横桥向单向滑动支座为法线方向,纵桥向单向滑动支座设计安装方向为支座位置处曲线的切线方向,其他为双向滑动支座^[16-20](图4)。

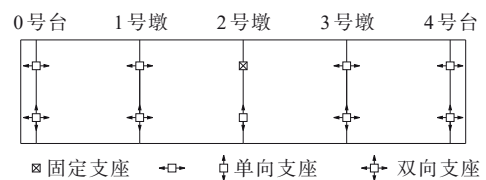


图3 直线连续梁桥支座布置示意图

Figure 3 Bearing layout of straight continuous girder bridge

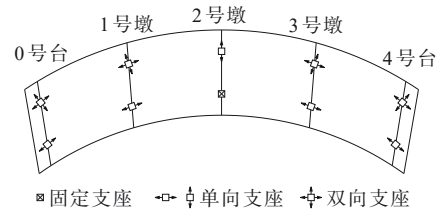


图4 曲线连续梁桥支座布置示意图

Figure 4 Bearing layout of curved continuous girder bridge

目前支座设计形式存在的不足:

(1) 每联连续梁通常只有一个固定支座和接近总数一半的单向滑动支座,其余均为双向滑动支座。双向滑动支座不能提供水平力,不利于上部结构的抗震。

(2) 曲线桥梁纵桥向单向滑动支座设计安装滑动方向同桥梁上部结构的实际变形方向不一致,导致结构变形受限,增加难以预料的结构内力,常有支座、防震挡块损坏、梁扭转的现象发生,尤其是小半径曲线连续梁桥更为明显。

(3) 由于双向滑动支座接近总数的一半,致使上部结构整体提供的水平抗力不足,上部连续结构常有扭转、错动现象发生。

(4) 每联连续梁只设置一个固定支座,在地震作用下,固定支座及墩柱受力过大,极易导致结构损坏。

2 支座施工安装的常见错误

2.1 支座安装方向错误

桥梁施工质量监督检查过程中,曾发现单向滑动支座安装存在方向错误,即将本该横向滑动的支座,错误地安装成纵向滑动支座,或将纵向滑动支座安装成横向滑动支座。经调查分析,造成这种错误的原因主要有两种:①施工人员对设计图纸理解不足,没有按设计图纸施工,导致安装方向错误(图5);②支座生产厂家在支座钢板上错误地将主滑动方向标注为顺桥向,从而导致安装错误(图6)。



图5 单向安装滑动方向错误

Figure 5 Incorrect unidirectional sliding after installation



图6 支座厂家滑动方向标注错误

Figure 6 Error in marking bearing sliding direction by manufacturer

2.2 支座安装不水平或解锁不及时

现行规范要求桥梁支座应水平安置,由于施工控制不规范,常导致支座安装上下钢板不水平,或存在滑动支座解锁不及时(图7)的情况,影响结构受力或不满足变形需求。

2.3 没有根据安装温度调整预偏量

在施工中,如果仅简单地按照设计尺寸位置安装支座上滑动钢板,而未考虑施工温度与设计结构标注尺寸对应温度之间的差异,以及现浇连续梁中

预应力混凝土压缩、收缩、徐变的影响,并且未对支座安装进行预偏量调整,这将导致支座无法满足结构变形的要求(图8)。



图7 滑动支座解锁不及时

Figure 7 Delayed unlocking of sliding bearing



图8 支座安装没有考虑预偏量,不能满足变形要求

Figure 8 Failure in meeting deformation requirements due to overlook in pre-offset in bearing installation

2.4 支座设计或施工安装方式错误

支座安装应采用螺栓拧入预埋套筒的方式,将支座上、下钢板固定在梁底和支座垫石预埋钢板上,以方便支座上、下钢板及安装用紧固螺栓的更换。现有相当数量的设计采用预埋螺栓加螺母紧固,或支座上钢板与梁底钢板焊接,这样的设计在支座损坏或达到设计使用年限时,将大大增加维修和更换的难度,甚至可能导致无法更换(图9)。

3 上部结构的变形分析

3.1 连续梁上部结构的温度、混凝土收缩变形分析

为了更明晰地分析上部连续结构的变形情况,可以先将曲线连续梁的外形包络线假设为一个矩形板块(图10),通过对矩形板块的变形分析来理解连续梁在各个支座位置的温度变形情况。

对于假设的矩形板来说,矩形板上任意点B相对于固定点A(固定支座处)的温度变形方向应是A、B两点的连线方向。因此,在桥梁结构中,任一支座的滑动方向应是该滑动支座同固定支座的连线方向,而与该支座处曲线梁的切线方向无关。



图9 支座安装方式错误不利于养护、更换

Figure 9 Improper bearing installation hindering maintenance and replacement

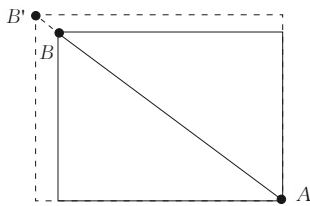


图10 支座变形温度、混凝土收缩变形分析示意

Figure 10 Temperature-induced deformation and concrete shrinkage deformation analysis of bearing

可以进一步假设,曲线梁已经形成一个完整的圆环(图11),在圆环上任一点位 C 的变形方向应是 AC 的连线方向,对于 D 点位应是 AD 的连线方向(45°)、 E 点位的变形应是 AE 方向(90°),而非该曲线点位的切线方向。

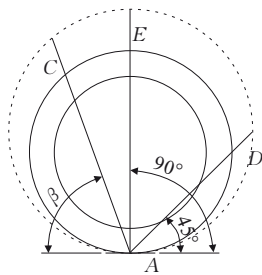


图11 曲线桥梁支座变形温度、混凝土收缩变形分析示意

Figure 11 Temperature-induced deformation and concrete shrinkage deformation analysis of curved bridge bearing

同理,斜交桥的横向单向滑动支座的安装方向也应是同固定支座的连线方向,而非桥梁在该处的法线方向。

对于结构混凝土的收缩,在无约束限制的情况下,其收缩变形同降温变形一致,可同温度变形统一考虑单向滑动支座的安装方向。

综上所述,目前曲线连续梁桥单向滑动支座设计的安装滑动方向(支座位置处曲线的切线方向)与结构由于温度和混凝土收缩产生的实际变形方向不

一致。

3.2 结构弹性压缩、徐变引起的结构变形分析

预应力桥梁结构在施工中需要按设计施加预应力,一般情况下,只需在梁的纵向施加预应力,而横向的预应力较小或不施加,施加的预应力会使结构产生弹性压缩变形,其中,大部分弹性变形在短时间内即可完成,对于曲线连续梁而言,其压缩变形主要沿曲线的切线方向发生。对于桥梁固定支座一列的支座,其变形方向应与该支座同固定支座的连线方向一致,而与固定支座不在同一列的支座处的变形由于桥梁横向变形很小或没有变形,使该处的变形与支座的连线方向不一致。这种变形差异对于桥梁支座间宽度不大时影响并不大,可以忽略不计;对于简支转连续的桥梁,由于安装时弹性压缩和徐变已基本完成,可以不考虑其影响,按照固定支座的连线方向安装单向滑动支座。但当桥梁上部结构为支座间宽度较大的现浇梁时,会对固定支座的另一侧的支座变形方向产生较大影响,单纯采用同固定支座的连线方向已不能满足支座处结构变形的要求,需采取工程措施加以解决。经分析,可以通过调整支座限位条的方向来解决。

徐变随时间持续增长,一般混凝土结构徐变在一个月后完成50%左右,2~3年基本完成,其变形大小与结构构件材料、加载时间、应力大小等因素有关。徐变的变形原理与弹性压缩基本相同,但徐变的持续时间较长。

3.3 连续梁桥支座设计的改进措施

根据分析结果,桥梁建造初期,上部连续结构的变形主要是温度变化、收缩、弹性压缩、徐变等引起的变形,且变形方向不一致。在桥梁建成通车后,混凝土收缩、弹性压缩、徐变等变形已基本结束,结构变形主要是温度变形。现有桥梁设计支座安装方向基本是固定的,但其设计安装滑动方向与结构初期变形和后期变形方向不吻合。因此,有必要对现有现浇或简支连续桥梁支座的安装设计进行改进和完善。不论是直线桥、斜交桥、曲线简支连续梁桥,都可只设置固定支座和单向滑动支座,取消双向滑动支座。在施工初期,各单向滑动支座可以不安装或暂时安装滑动方向限位板。待后期上部结构的弹性压缩变形、徐变、收缩变形基本结束后,再按结构温度变形方向安装侧向滑动方向限位板,或先按设计方向安装限位板,交(竣)工时调整定位限位板。运营期间还可适当调整限位板方向,保证其主滑动方

向是该支座同固定支座的连线方向,如图12、13所示。这样既能满足结构建造初期和后期的变形要求,又能提供更多的横向水平力,以满足结构抗震要求。

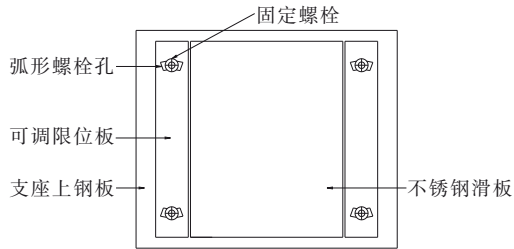


图12 桥梁支座可变方向结构示意图(支座上部)

Figure 12 Structure of variable bearing direction (upper part of bearing)

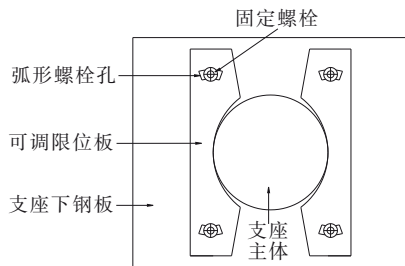


图13 桥梁支座可变方向结构示意图(支座下部)

Figure 13 Structure of variable bearing direction (lower part of bearing)

3.4 其他连续梁结构形式的适用性

对于公路、城市道路上使用的其他形式的连续梁,如钢梁桥、钢混组合梁桥、先简支后连续桥梁(采用盆式或球形支座)等,本文讨论提出的优化方案也适用。对于设置固结墩的连续梁桥,可将固结中心点视为固定支座安放点,来确定其他墩顶单向滑动支座的安装方向。

4 结论

现浇连续梁上部结构设计与施工中,若支座的安装方向与结构实际变形方向不一致,会导致支座错位、损坏或梁体变形受到限制。通过分析连续梁温度、收缩、弹性压缩、徐变作用下的变形特点,得出以下结论:

(1) 结合各种变形随时间的变化关系,提出分段考虑结构变形方向措施。待结构徐变、弹性压缩、收缩变形稳定后,按上部连续结构温度变形方向安装支座限位条,并建议改变现有支座安装方向的设计思路。

(2) 全桥除固定支座外,其余全部采用单向滑动支座,且主滑动方向为支座点与固定支座的连线方向(图14),侧向限位板可后期安装或调整。

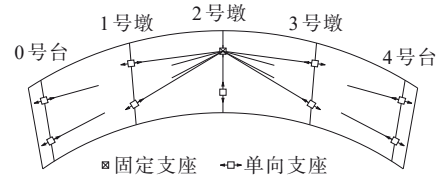


图14 曲线连续梁桥单向滑动支座安装方向优化布置图
Figure 14 Optimized layout of installation direction for unidirectional sliding bearing of curved continuous girder bridge

(3) 在施工控制时要严格按设计进行施工,保证垫石强度、顶面水平,滑动方向、预偏量及安装锚固方法均符合设计控制和运营维护需要。这样的设计不仅能满足结构变形需求,还能提供更多的横向水平力和结构抗震能力,确保结构在施工和运营期间的安全。

参考文献:

References:

- [1] 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.
LU Zongdian, HUANG Wei. Study on disease disposal methods of simply supported continuous girder bridge [J]. Journal of China & Foreign Highway, 2020, 40(6): 136-139.
- [2] 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.
WANG Sheng, NING Pinghua, WANG Ronghui, et al. Research on design optimization for integral joint in support region[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2022,42(3):74-79.
- [3] 李娜,周小勇,李阳,等.小跨宽幅连续梁桥支座负反力分析[J].中外公路,2022,42(1):90-94.
LI Na, ZHOU Xiaoyong, LI Yang, et al. Analysis of negative reaction force on bearings of small-span and wide continuous beam bridge[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2022,42(1):90-94.
- [4] 涂光亚,石洋,邹磊.大跨度钢混组合梁斜拉桥钢主梁截面参数对成桥状态主梁受力敏感性分析[J].中外公路,2022,42(1):108-115.
TU Guangya, SHI Yang, ZOU Lei. Sensitivity analysis of section parameters of steel main girder of long-span cable-stayed bridge with steel-concrete composite girder on mechanical behavior of main girder in completion state[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2022,42(1):108-115.
- [5] 邵梦龙,郭日强,唐绪.降低钢桁梁悬索桥主桁疲劳应力

- 幅的结构体系及其可行性研究[J].中外公路,2022,42(1):123-126.
- SHAO Menglong, GUO Riqiang, TANG Xu. Study on structural system and feasibility for reducing fatigue stress amplitude of main truss in steel truss suspension bridge[J]. Journal of China & Foreign Highway,2022,42(1):123-126.
- [6] 张永平,王润建.基于挠度监测数据的在役桥梁结构安全状态评估方法研究[J].中外公路,2022,42(1):173-177.
- ZHANG Yongping, WANG Runjian. Research on structural safety assessment method of prestressed concrete continuous box girder bridge based on deflection monitoring data[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2022,42(1):173-177.
- [7] 王一光,郑元勋.某小半径现浇箱梁桥墩梁连接方式受力性能分析[J].中外公路,2022,42(3):64-69.
- WANG Yiguang, ZHENG Yuanxun. Finite element analysis of mechanical performance of a small radius cast-in-place box girder bridge pier-beam connection method[J]. Journal of China & Foreign Highway,2022,42(3):64-69.
- [8] 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.
- LUO Yuegen, ZHANG Xun, ZHANG Jingyue. Research on influence of bearing sliding plate wear on seismic performance of multi tower cable-stayed bridge[J]. Journal of China & Foreign Highway,2022,42(3):104-109.
- [9] 季建东,王彬.长挑臂闭口钢箱组合梁桥设计及其关键技术[J].中外公路,2024,44(3):137-144.
- JI Jiandong, WANG Bin. Design and key technologies of bridges with long-cantilever closed steel box composite girder[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2024, 44 (3):137-144.
- [10] 陈作银,陈佳.高烈度地震区可克达拉特大桥主桥横向抗震体系研究[J].中外公路,2022,42(3):136-141.
- CHEN Zuoyin, CHEN Jia. Study on transverse seismic system of main bridge of KekeDala Bridge in high intensity seismic area[J]. Journal of China & Foreign Highway,2022,42(3):136-141.
- [11] 邵旭东,应李溶君,赵旭东.型钢-UHPC组合连续梁墩顶负弯矩区接缝抗弯性能试验[J].中国公路学报,2023,36(9):34-47.
- SHAO Xudong, YINGLI Rongjun, ZHAO Xudong. Experimental study on flexural behavior of joint in negative moment area at pier top of hot rolled-shape steel-UHPC composite continuous beam[J]. China Journal of Highway and Transport,2023,36(9):34-47.
- [12] 陈杰,艾辉林,王声云.基于TMD的连续多跨曲线人行桥减振设计研究[J].中外公路,2022,42(5):72-77.
- CHEN Jie, AI Huilin, WANG Shengyun. Research on vibration control of continuous multi-span curved footbridge based on TMD[J]. Journal of China & Foreign Highway,2022,42(5):72-77.
- [13] 张通,李帅鹏,邓华,等.整体预制Π形钢板组合连续梁桥参数优化分析[J].公路,2023,68(9):129-135.
- ZHANG Tong, LI Shuaipeng, DENG Hua, et al. Parameter optimization analysis of integral prefabricated Π-shaped steel plate combined continuous girder bridge[J]. Highway, 2023,68(9):129-135.
- [14] 杨文甫.移动荷载作用下基于时频能量熵的桥梁损伤识别[J].中外公路,2022,42(5):115-119.
- YANG Wenfu. Bridge damage identification based on time-wavelet energy spectrum under moving load[J]. Journal of China & Foreign Highway,2022,42(5):115-119.
- [15] 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.
- ZHANG Jingyue, WANG Zhiqiang, LIU Fukang. Influence of friction pendulum bearing damage on seismic performance of long-span continuous girder bridge[J]. Journal of China & Foreign Highway,2022,42(5):145-150.
- [16] 全国交通工程设施(公路)标准化技术委员会.公路桥梁盆式支座:JT/T 391—2019[S].北京:人民交通出版社,2019.
- SAC/TC223. Pot bearing for highway bridge: JT/T 391—2019[S]. Beijing: China Communications Press, 2019.
- [17] 国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.桥梁球型支座:GB/T 17955—2009[S].北京:中国标准出版社,2009.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Spherical bearings for bridges: GB/T 17955—2009[S]. Beijing: Standards Press of China, 2009.
- [18] 全国交通工程设施(公路)标准化技术委员会.公路桥梁板式橡胶支座:JT/T 4—2019[S].北京:人民交通出版社,2019.
- SAC/TC223. Laminated bearing for highway bridge: JT/T 4—2019[S]. Beijing: China Communications Press, 2019.
- [19] 中交第一公路勘察设计研究院有限公司.公路桥梁多级水平力盆式支座:JT/T 872—2013[S].北京:人民交通出版社,2014.
- CCCC First Highway Consultants Co., Ltd.. Pot bearings with multilevel horizontal force for highway bridges: JT/T 872—2013[S]. Beijing: China Communications Press, 2014.
- [20] 中交第一公路勘察设计研究院有限公司.公路桥梁多级水平力球型支座:JT/T 873—2013[S].北京:人民交通出版社,2014.
- CCCC First Highway Consultants Co., Ltd.. Spherical bearings with multilevel horizontal force for highway bridges: JT/T 873—2013[S]. Beijing: China Communications Press, 2014.