

简支转连续梁桥支座病害处置方法研究

逯宗典, 黄威

(中交第二公路勘察设计院有限公司, 湖北 武汉 430056)

摘要:简支转连续梁桥在城市高架与互通式立交桥中应用极为广泛,但其受力情况复杂,车辆离心力、制动力以及温度荷载对支座受力均有很大影响,因此频繁出现支座病害问题。为有效替换病害支座,该文以某互通匝道桥为例,结合有限元数值分析结果,提出了纵向局部分级顶升,横向同步顶升的支座更换新方法。计算分析结果表明:局部分级顶升方案适用于任意跨数的连续梁桥,该方案不仅能有效地降低施工费用,而且能很好地保证顶升施工过程中结构的安全性,适合在支座病害处置项目中推广使用。

关键词: 支座更换; 单点逐墩顶升; 局部分级顶升; 整体同步顶升; 结构安全性

随着中国城市建设的飞速发展,已建和在建的城市高架与互通式立交桥数不胜数。然而中国公路桥梁建设在取得辉煌成绩的同时也出现了许多问题,尤其是在曲线互通匝道桥中,支座设计使用寿命与实际使用寿命存在明显偏差,部分弯曲匝道桥仅在正常使用10~20年后就需要更换支座。分析其原因在于连续弯箱梁匝道桥空间受力复杂,车辆荷载离心力、制动力和温度应力等均会对支座造成一定程度的损坏。

为保证桥梁的正常服役状态,学界针对支座病害处置方法进行了广泛研究。李永麟等总结江阴大桥北引桥整体同步顶升更换桥梁支座的施工经验后认为,非过渡墩的顶升高度应大于等于5 mm,过渡墩的顶升高度应大于等于6 mm,才能保证顺利取出旧支座;戴岩等详细分析了液压同步顶升法的施工流程,通过分析监控数据,论证了该方法应用于弯梁纠偏及支座更换的可行性;杨盛超等通过建立有限元模型提出了纵向单点逐墩,横向同步顶升的支座更换方法(以下简称单点逐墩顶升),数值分析结果表明:该方法合理可行,结构的安全可以得到保证。目前常用的支座更换方法有枕木满布式支架法、鞍形支架法、钢扁担梁法、端部整体顶升法、桥面钢导梁法、扁形千斤顶法、钢蝴蝶梁法等。上述各类方法均可以划分为单点逐墩顶升和整体同步顶升两大类。

该文在既有支座替换方法的基础上,综合考虑结构安全和经济成本等因素,提出纵向局部分级顶升,横向同步顶升的支座更换新方法(以下简称局部分级顶

升)。利用有限元方法对新方法进行计算分析,并与传统顶升方法进行对比,以明确新方法的可行性。

1 工程背景

盛泽互通L匝道桥位于江苏常(熟)台(州)高速公路上,全桥平面位于直线接 $A=62.898\text{ m}$ 的左偏缓和曲线及 $R=62.5\text{ m}$ 的左偏圆曲线段上。全桥长235.06 m,共计10跨,上部结构为 $5\times 23\text{ m}+5\times 23\text{ m}$ 共两联钢筋混凝土连续箱梁(图1);下部结构桥台为承台分离式桥台配桩基础,桥墩为双柱墩配桩基础。桥梁全宽 $15.5\sim 16\text{ m}$,桥面横向布置为: 0.383 m (护栏)+ 6.867 m (行车道)+ 1.0 m (护栏)+ 6.867 m (行车道)+ 0.383 m (护栏)。

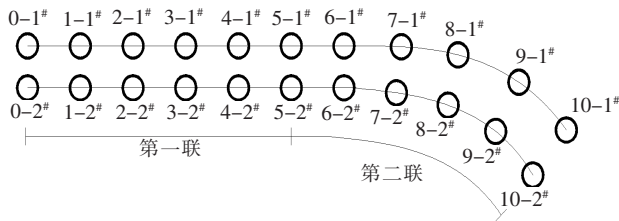


图1 L匝道桥平面布置图

该匝道桥在桥墩处设置 GYZ700 mm \times 160 mm 圆形板式橡胶支座,桥台处设置 GYZF₄500 mm \times 132 mm 圆形四氟滑板橡胶支座。

该匝道桥在2013年的定期检查过程中发现7-1#、7-2#、8-1#、8-2#立柱墩顶锚栓筋倾斜、混凝

土破损、漏筋;支座老化及剪切变形严重等病害,2017年定期检查发现该病害进一步发展,为保证桥梁的正常服役,需要对病害支座进行替换处理。

2 病害原因分析及处置方案

2.1 病害原因分析

综合分析其病害原因在于普通板式橡胶支座不具备水平限位能力,曲线桥梁段上由于车辆荷载离心力、车辆荷载制动力、温度荷载和支座老化等因素共同作用,使得该匝道桥第二联曲线段向曲线外侧偏移,导致7#~9#桥墩上的板式橡胶支座横向剪切位移量过大,支座开裂;同时,横向偏移导致箱梁与桥墩之间的锚固钢筋变形量过大,进而导致柱顶和梁底楔形块混凝土局部脱落。

2.2 总体处置方案

该匝道桥的病害主要发生在第二联曲线段,根据病害情况和成因分析,拟定的处置方案为:将第二联6[#]~9[#]墩处的支座更换为具有水平限位功能的盆式橡胶支座,在10[#]桥台处采用与原设计一致的板式橡胶支座进行更换。

由于该桥墩顶并未布置墩帽或盖梁,且其墩底没有承台,底部多为淤泥,地基承载力较差。为了给千斤顶提供顶升平台,在综合比选地基硬化处理架设钢支架顶升方案和增设横系梁方案后,认为采用增设永久性混凝土横系梁的方案更为安全和经济。在顶升施工过程中,应以位移控制为主,主应力控制为辅。具体的顶升措施为:①在 $6^{\#} \sim 9^{\#}$ 桥墩柱顶增设横系梁;②在桥墩柱顶增设的系梁或桥台帽梁上架设顶升千斤顶及辅助支撑系统(图2);③剪断 $7^{\#}$ 、 $8^{\#}$ 桥墩墩顶的支座限位钢筋;④对 $6^{\#} \sim 10^{\#}$ 墩台逐步分级顶升,更换支座。

维修加固期间,在各墩处箱梁顶升时应临时封闭交通,其他施工工期间建议对桥上交通进行管制,限制车辆运行速度和车道,同时对全过程进行检测、监控,以确保施工及行车安全。

3 顶升施工方案对比

为体现该文所提出的局部分级顶升支座更换新方法的优点。分别从结构安全性、施工难度及工程费用、适用范围 3 个角度对局部分级顶升、单点逐墩顶升、整体同步顶升 3 种顶升方案进行对比。

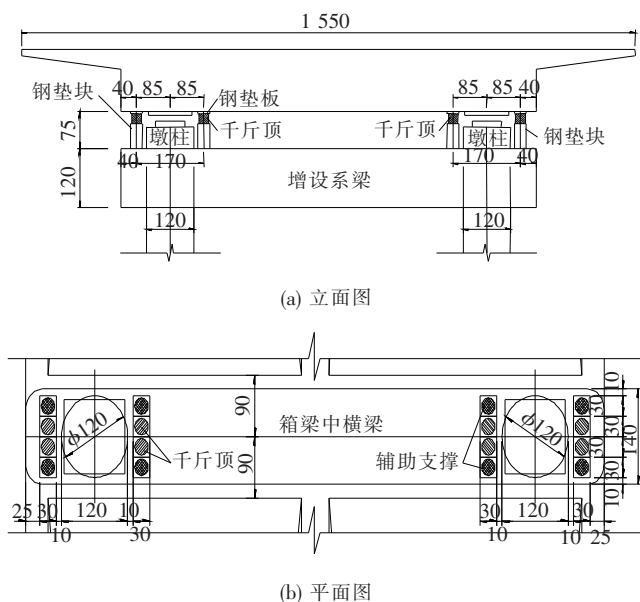


图 2 桥墩顶升支撑系统布置图(单位:cm)

在对结构安全性进行评判时,使用 Midas/Civil 软件建立第二联曲线段的有限元模型,分别使用上述 3 种顶升施工方案将 7# 墩顶升至满足支座更换的设计高度 6 mm。分别对比在 3 种顶升工况下,梁体的最大上缘混凝土应力、最大下缘混凝土应力、各支座反力。在顶升过程中,造成的梁体混凝土拉压应力和传递给增设系梁的支反力越小,则结构越安全。

在对施工难度及工程费用进行评判时,主要以投入的设备数量、对联系构件或设施的影响,顶升控制风险大小为指标。

在对适用范围进行划分时,主要以可行性、结构安全性和经济性为指标。

3.1 纵向局部分级顶升、横向同步顶升方案

局部分级顶升方案即将更换支座处梁体顶升至预定高度的同时,将前后桥墩处梁体也顶升至适宜高度,使梁体受力和顶升线形更加安全合理。在实际顶升过程中,可以按照从边跨往中跨逐步推移的顺序替换受损支座。

该文仅对比替换 7# 墩支座时的情况,因此在有限元分析计算中,给 7# 墩支座 6 mm 的强迫顶升位移,6# 和 8# 墩支座各 3 mm 的强迫顶升位移,其余支座均不施加强迫位移。

3.2 纵向单点逐墩、横向同步顶升方案

单点逐墩顶升方案即在梁体顶升时,按照一定的顺序,逐个将需要替换支座的桥墩处梁体顶升至设计高度,依次替换受损支座。

单点逐墩顶升方案具有易于控制、顶升量小、顶升控制风险小,同时造价低廉的优点。但单点顶升过程中,顶升力集中,对梁体伤害极大,顶升线形不易控制,实际顶升效果一般。

在该计算工况中,仅给 7# 墩支座 6 mm 的强迫位移,其余各支座均不施加强迫位移。

3.3 整体同步顶升方案

整体同步顶升方案即在全联桥各个墩顶附近均设置一个或多个千斤顶,将梁体同步顶升至适宜高度来更换受损支座。

整体同步顶升方案在梁体中产生的额外内力较小,顶升高度可以根据施工需求灵活选择。但该顶升方案施工费用过高,当简支转连续梁桥跨度达到 6 跨甚至更多时,该顶升方案便不再可行。同时,由于多个千斤顶在顶升过程中可能会出现微小的不均匀性,为防止倾覆和滑移,必须对梁体采用必要的横向限位措施。

在该计算工况中,同时给予第二联桥所有支座 6 mm 的强迫位移并限制住 8—2# 墩支座的水平向位移。

3.4 结构安全性对比

分别采用上述 3 种顶升方案,使用 Midas 软件计算得到将梁体顶升至设计高度时,仅考虑支座位移荷载作用下(不考虑包括自重在内的其他荷载),梁体上、下缘应力及顶升支座反力。梁体上、下缘混凝土应力极值如表 1 所示,6#~9# 墩最大顶升支座反力如表 2 所示。

表 1 梁体上、下缘应力极值 MPa

顶升方案	上缘应力		下缘应力	
	最大值	最小值	最大值	最小值
单点逐墩顶升	0.609	-0.416	0.586	-0.835
局部分级顶升	0.243	-0.123	0.176	-0.345
整体同步顶升	0	0	0	0

表 2 6#~9# 墩顶升支座反力

顶升方案	支座反力/kN			
	6# 墩	7# 墩	8# 墩	9# 墩
单点逐墩顶升	-107.0	182.7	-152.5	47.5
局部分级顶升	-27.6	58.4	-15.3	-42.4
整体同步顶升	0	0	0	0

从表 1 可以看出:在同样将 7# 桥墩处梁体顶升 6

mm 高度的情况下,传统的纵向单点逐墩顶升方案在梁体上、下缘造成的应力均为最大,在实际施工过程中,该方案极有可能引起桥面裂缝甚至出现结构破坏。而采用局部分级顶升方案时,其所造成的梁体上、下缘最大应力值仅为单点逐墩顶升方案的 30%~40%,极大地减小了顶升过程中可能对梁体造成的损伤。当采用整体同步顶升方案时,由于是将第二联梁体整体顶升,使其与支座完全分离,因此该顶升方案不会造成额外的结构内力,对梁体造成的损伤最小。

从表 2 可以看出:传统的纵向单点逐墩顶升方案所造成的额外顶升支反力最大,在实际顶升过程中,千斤顶需要提供更大的顶升力,增设系梁也需要承担更大的支反力。而采用纵向局部分级顶升方案时,其所引起的最大额外支反力仅为单点逐墩顶升方案的 32%,千斤顶的负荷相对较小,增设系梁承受的额外支反力也相对减小。当采用整体同步顶升方案时,各桥墩处千斤顶所承担的支反力与未顶升时各支座反力完全相等,千斤顶不需要承担额外的支反力,增设系梁承受的支反力最小。增设系梁承受的支反力越小,增设系梁越不容易发生剪切破坏,结构越安全。

由此可知,上述 3 种顶升方案的结构安全性顺序为:整体同步顶升方案>纵向局部分级顶升方案>纵向单点逐墩顶升方案。

3.5 施工难度及工程费用对比

采用上述 3 种顶升方案,所需要投入的千斤顶和辅助支撑数量如图 3 所示。另外由于同步顶升方案是将第二联梁体完全顶升起来,因此还需要采用额外的纵、横向限位装置来保证梁体在自由状态时的稳定与安全。而纵向单点逐墩顶升方案和纵向局部顶升方案由于只在部分支座位置上进行了顶升,因此不需要或者仅需要较少的纵、横向限位装置即可保证梁体的稳定与安全。当单点逐墩顶升方案和局部分级顶升方案均采用限位装置时,上述 3 种方案所需要的限位装置数量如图 4 所示。

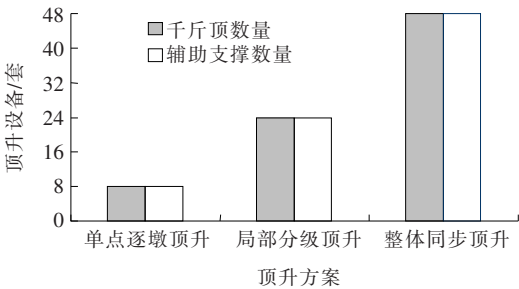


图 3 顶升设备数量

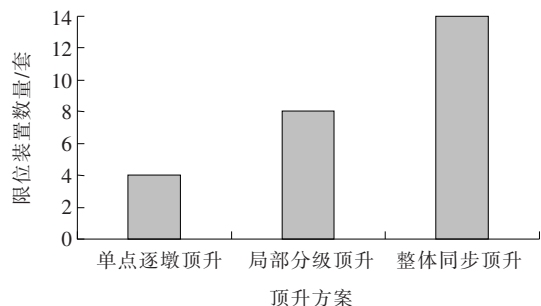


图4 限位装置数量

从图3、4可以看出:上述3种顶升方案所需要投入的工程设备数量由少到多依次为:纵向单点逐墩顶升方案、纵向局部分级顶升方案和整体同步顶升方案。根据相关文献及以往的工程经验可知,在完成相同工作量的前提下,同时投入的工程设备越多,所需要投入的人力成本和经济成本越高。

上述3种方案的顶升点数量由少到多依次为:单点逐墩方案、局部分级顶升方案和整体同步顶升方案。当顶升点越多时,梁体受到的约束就越少,顶升控制风险就越大。同时,顶升点越多,梁体变位越大,对联系构件及预埋管线的损伤也就越大。

从而可以得出,上述3种顶升方案的施工难度及所需工程费用顺序为:整体同步顶升方案>纵向局部分级顶升方案>纵向单点逐墩顶升方案。

3.6 适用范围对比

整体同步顶升方案虽然在保证结构安全上具有显著优势,但是当简支转连续梁桥连续跨数超过6跨甚至更多时,必然会极大地增加设备投入,提高工程造价,且整体顶升超过6跨的梁体时,顶升控制风险大大增加。因此,当简支转连续梁桥连续跨数超过6跨时,整体同步顶升方案便不再适用。

而局部分级顶升方案却不受连续跨数的限制,不仅能有效地降低施工费用,而且能够很好地保证顶升施工过程中结构的安全性。因此,局部分级顶升方案适用于所有跨数的连续梁桥。

单点逐墩顶升方案也不受连续跨数的限制,但该顶升方案对梁体伤害较大,结构安全性难以得到保证。与局部分级顶升方案相比,该方案的结构安全性较差,在工程造价上的优势也不明显,未来可以逐步淘汰该方案,使用局部分级顶升方案代替。

4 结论

(1) 3种顶升方案的结构安全性顺序为:整体同步顶升方案>纵向局部分级顶升方案>纵向单点逐墩顶升方案。

(2) 3种顶升方案的施工难度及所需工程费用顺序为:整体同步顶升方案>纵向局部分级顶升方案>纵向单点逐墩顶升方案。

(3) 整体同步顶升方案虽然在保证结构安全上具有显著优势,但是施工难度较大,工程投入较高。而且当连续梁桥跨数超过6跨时,该方案的工程投入和控制风险太大,因此该方案仅适用于跨数小于等于6跨的连续梁桥。

(4) 局部分级顶升方案可不受连续跨数的限制,不仅能有效地降低施工费用,而且能够很好地保证顶升施工过程中结构的安全性,适合在支座病害处置项目中推广使用。

参考文献:

- [1] 刘帅.城市曲线高架桥的地震响应分析[D].西南交通大学硕士学位论文,2016.
- [2] Cheung M S, Lau D T, Li W. Recent Developments on Computer Bridge Analysis and Design[J]. Progress in Structural Engineering & Materials, 2015, 2(3): 376—385.
- [3] 陈立文.城市高架桥主要病害机理分析与复位加固研究[D].长安大学硕士学位论文,2017.
- [4] 李健,赵巧燕.桥梁板式橡胶支座病害调研及早期病害分析[J].公路交通科技(应用技术版),2018(10).
- [5] 李永麟,沈永富,陆健.同步顶升更换多跨简支T梁桥橡胶支座关键技术探讨[J].中外公路,2016(1).
- [6] 戴岩,周天华.液压同步顶升系统在弯梁纠偏及支座更换中的应用[J].工业建筑,2015(6).
- [7] 杨圣超,索晓庆,张永水,等.简支转连续梁桥支座更换新方法仿真分析[J].中外公路,2010(3).
- [8] 陈梁,朱利明,蒋湘成.斜交连续梁顶升过程仿真分析[J].中外公路,2016(4).
- [9] 陈露晔,张仁根,雷波.简支转连续梁桥支座更换新技术研究[J].公路,2011(8).
- [10] 罗文林,吴海林,刘志国.同步顶升技术更换连续箱梁桥支座施工方案[J].西部交通科技,2010(5).