

横向同步纵向逐墩顶升法的研究与应用

杨德玉

(中交一航局第二工程有限公司)

摘要: 为了快速解决陈家贡湾特大桥支座更换难题,经过工艺对比分析,采用横向同步纵向逐墩顶升法进行施工,通过精准控制梁体单端顶升的变形量,为支座更换提供切实可行的操作空间,有效控制施工人员、桥梁检测车、千斤顶的投入数量,实现了安全、质量、工期和成本的多重目标突破,成功完成了桥梁支座更换施工任务。实践证明,横向同步纵向逐墩顶升法安全可靠、经济高效,可供类似工程参考。

关键词: 支座更换;逐墩顶升法;桥梁检测车;千斤顶

0 引言

当代桥梁工程的设计年限通常设定为 100 a,而桥梁支座作为关键部件,板式支座设计年限约为 15~20 a,盆式支设计年限座为 20~30 a,恶劣条件下可能更短,与桥梁结构差距较大。快速完成全桥支座更换成为亟待解决的施工难题。20 世纪 90 年代—21 世纪初,桥梁支座更换大多采用纵向整联跨同步顶升法,横向同步纵向逐墩顶升法在 2008 年才开始试点应用,优先适用于桥面连续装配式小箱梁桥、空心板桥等桥型。

本文结合工程实际情况,通过方案比选,确定横向同步纵向逐墩顶升法施工,针对桥梁单幅单端同步顶升和桥梁姿态监测进行研究和实践,总结了关键施工技术,实现了安全、优质、高效、经济施工,为工程顺利推进提供了有效的技术保障,为后续类似项目积累了可以借鉴的施工经验。

1 工程概况

1.1 项目概述

陈家贡湾特大桥位于青岛西海岸新区胶南市泊里镇与琅琊镇交界的陈家贡海湾入海口,其左、右幅均为 10 联 6×30 m 的装配式 T 梁桥(先简支后连续),每幅 5 片梁。单幅 T 梁之间设 5 道横隔板,墩顶处 2 跨共用 1 道横隔板;下部结构为钢筋混凝土薄壁式桥墩,0 号桥台为钢筋混凝土埋置式桥台,60 号桥台为钢筋混凝土框架式桥台,灌注桩基础。桥面为沥青混凝土铺装,模数式伸缩缝。

该桥跨越近海养殖区,受海洋环境腐蚀影响严重,自 2009 年 10 月通车后仅 10 余 a,其大部

分桥梁支座就产生不同程度老化、剪切变形和局部开裂等问题,存在较大的安全隐患,急需进行支座更换。支座更换数量多、工期紧、安全和环境要求高。

2020 年 12 月,由山东华鉴工程检测有限公司对该桥进行定期检测。桥梁问题主要表现为:主梁混凝土破损、露筋和锈蚀,横、纵向裂缝,橡胶支座老化产生剪切变形、局部开裂等。其中,垫石残损 3 处;222 个支座(占全桥支座的 54%)均存在老化开裂;22 个支座(占全桥支座的 5%)均存在纵向剪切变形,剪切变形角度 5°~10°;50 个支座(占全桥支座的 12%)均存在外鼓。

1.2 自然条件

通过对桥址区海水水质分析得出的腐蚀评价为:结晶腐蚀中等,结晶分解复合腐蚀强,无分解腐蚀。综合评价,桥址区海水有强腐蚀性。

1.3 技术参数

支座检查技术参数^[1]见表 1。

表 1 支座检查技术参数表

检查项目		允许偏差/mm	检查方法	检查频率
支座中心横桥向偏位		≤2	经纬仪、钢尺	测每支座
支座中心顺桥向偏位		≤5	经纬仪或拉线	测每支座
支座高程		符合设计规定;设计未规定时±5	水准仪	测每支座中心线
支座四角高差	承压力≤500 kN	≤1	水准仪	测每支座
	承压力>500 kN	≤2	水准仪	测每支座

2 方案比选

国内目前更换支座的常规工艺为千斤顶顶升,顶升方案需根据桥型、上部结构和墩柱的结构形

式等因素进行方案选择和设计,多采用纵向整联跨同步顶升法或横向同步纵向逐墩顶升法。综合纵向整联跨同步顶升法和横向同步纵向逐墩顶升法,从机具设备、安全环保、施工工效、成本投入等方面进行对比,见表2。

表2 方案对比

项目	纵向整联跨同步顶升法	横向同步纵向逐墩顶升法
机具设备	桥检车7台、千斤顶14组	桥检车1台、千斤顶2组
安全环保	整联顶升,整体脱离支座系统,安全风险相对较高	单墩顶升,单跨单端悬空,安全性好
施工工效	7组智能千斤顶,施工准备时间长,统一顶程难度大,总体效率低	1组智能千斤顶,单个施工循环效率较高
成本投入	7套设备、7组人员,成本高	1套设备、1组人员,成本较低

可以看出,横向同步纵向逐墩顶升法在安全、工效及成本控制方面优势明显,故采用此方案进行施工。

3 施工工艺

3.1 施工工艺原理

梁体顶升时,桥梁结构局部受顶升力作用时产生竖向位移,此时结构会产生应力应变,允许范围的应力应变对应的局部位移,为支座更换提供了可行的作业空间和条件。横向同步纵向逐墩顶升法恰恰就利用桥梁结构这个特性,采用超薄型液压千斤顶作为顶升工具,同时顶升单幅单跨所有箱梁的同一端,以完成单幅单端桥梁支座更换,纵向逐墩进行顶升,完成全桥支座更换。

3.2 施工工艺流程

横向同步纵向逐墩顶升法施工流程为:施工

准备→安装顶升设备→液压泵站就位与控制柜线路连接→启动顶升系统→梁体顶升及桥梁姿态监测→支座更换→落梁。

3.3 施工关键技术

3.3.1 施工准备

施工前精确测量控制点实际高程,根据现场实际情况,复核支座病害及设计顶升数据,确定顶升前需拆除的上下部之间约束,并报监理审核,核定最终顶升位移量后再进行顶升施工。施工前可采用 Midas Civil 建立模型,进行主梁、盖梁及墩台应力验算。

对梁体、桥梁等附属设施的铺装重量进行初步测算,同时考虑到混凝土浇筑超方、箱梁与背墙存在摩擦、各千斤顶反支力差等不确定因素。综合考虑以上因素,选择千斤顶时,实际顶升能力应达到初步计算值150%以上。千斤顶、高压油泵、油表等顶升设备进场后,及时标定,合格后方可使用。

参照桥梁宽度和实际作业需要配备适合的桥检车。配足不同厚度的钢垫板、钢垫块等辅助材料,以便出现相邻梁体或相邻千斤顶有高差等情况时进行高差调平,防止梁体在顶升过程中由于不均匀受力而产生意外。当采用盖梁作为托盘体系时,对破损、病害进行修补和加固处理,并将其底面找平。

3.3.2 安装顶升设备

各墩(台)按所需数量安装千斤顶,安装放置千斤顶的位置需要打磨或修补平整,确保千斤顶底面水平。安装位置参考设计文件确定,并计算复核。千斤顶安装位置示意图如图1所示。

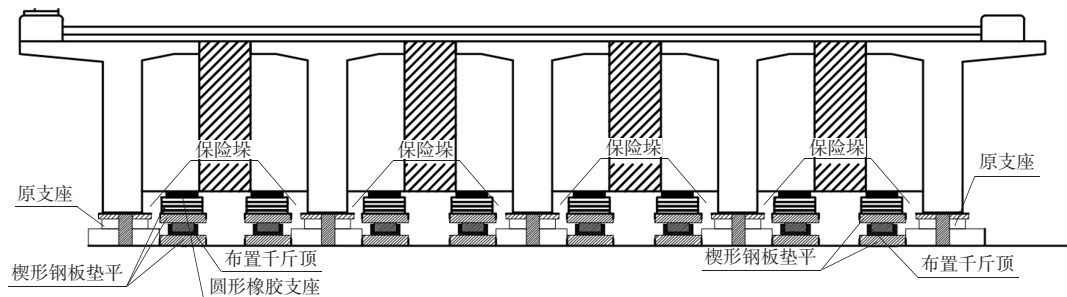


图1 千斤顶安装位置示意图

将自锁式千斤顶或钢垫板保险垛应用于顶升液压终端,以防止系统和管路出现任何形式的失压问题。顶升支撑利用原桥台或桥墩进行,顶升施工前将墩(台)顶面打磨或修补平整,以利于千

斤顶垂直安装,使之受力均衡,避免产生水平方向的分力。

施工前对已标定合格的设备及配件进行检查,先清洁油管接头和分配器,再连接油管。检查无

问题后进行加压试验，确保油路耐压密封可靠。顶升系统调试应确保顶置系统位移感应器的准确度不低于 0.2 级，系统在使用前进行不低于 1 h 的保压测试^[2]。

3.3.3 液压泵站就位与控制柜线路连接

千斤顶、油泵、溢流控制阀、分流阀、持荷阀共同组成液压泵站，其输出方式分高压、低压 2 种。用高压油管正确连接各部件，形成高压和低压回路，并密封牢固。溢流控制阀采用电磁阀控制，其控制线与控制箱端子相连，控制高压和低压油路的进油，每个电磁阀控制 1 台千斤顶，4 台千斤顶为 1 组，使用分流阀控制。

检测系统主站配置 1 台压力传感器，装在高低压分流块上；每台千斤顶配置 1 台压力传感器，装于持荷阀上，控制线接于端子上；每台千斤顶配置 1 台位移传感器，安装于千斤顶附近，不与千斤顶相连，以免千斤顶自身位移变化影响测量精度。各传感器的控制线按照设备使用说明连接。安装好主机并用网线接于控制箱内。液压系统采用 380 V 电源，控制箱电源为 220 V。

3.3.4 启动顶升系统

接通电源后，开启顶升系统。先调试系统，检查系统运行情况。调试完成后，进入设置界面，进行参数设置。

3.3.5 梁体顶升及桥梁姿态监测

以梁体位移作为梁体顶升时的主要控制指标，采用梁体位移和顶升力双控进行梁体顶升作业，采取分级缓慢顶升的方式，由专业人员统一指挥。

可将顶升量分 3 级—5 级^[2]，在参数设置时可自行设定。每级顶升到位后，判断支座更换需要，若满足施工需要，可停止下一级顶升。千斤顶安装完毕后先试顶，以消除顶升系统的非弹性变形、沉降或其他障碍，清除障碍后方可正式顶升。

第一级顶升时，将预顶升力加至恒载的 20% 左右，逐一检查各千斤顶支垫，若不够稳固，回油调整支垫后再重新将顶升力加至恒载的 20%，记录初始读数，并将此读数作为“零”位移。继续增加顶升力至恒载的 80% 左右，再次记录读数，分析顶升位移是否一致，排查油路系统，发现漏油、供油不畅等现象立即停止顶升进行整改。同时观测桥梁水平位置，无横向位移等异常情况下，继续加大顶升力，当顶升力大于恒载后，以顶升位移控制为主。再次顶升 2~3 mm，至支座脱空，

再次记录读数，并决策分级顶升高度，本工程为 3 mm/级。

此后以 3 mm 为分级界限，顶升速度控制在 1 mm/min 范围内^[2]，各顶升点移位同步精度要达到 0.5 mm，逐级顶升，顶升到位后，立即加垫保险垛做临时固定点。

梁体顶升是施工工艺的重中之重，施工中必须做好同步顶升和桥梁姿态监测。

1) 同步顶升

一般情况下，当梁端的顶升高度低于极限高度，极限高度需根据桥梁结构形式、梁长等数据通过设计计算得出，本桥极限高度为 2 cm。在此种状态下，顶升力不会造成梁体结构和桥面系的破坏，对桥梁结构本身无影响。梁体顶升是本方案的关键技术，必须确保千斤顶同步顶升，且顶升力均衡一致，顶升速度控制在 1 mm/min 范围内，各顶升点移位同步精度要达到 0.5 mm，严禁超过极限顶升高度。整个施工过程要做好桥梁姿态监测。

2) 桥梁姿态监测

本工程对桥梁结构及状态全程监测，包括初始状态参数确定和施工过程监测等。施工过程包括桥梁重点部位的位移监测、结构应力应变监测和裂缝监测，同时要监测结构和环境温度等。监测项目及频率^[2]如表 3 所示规定执行。

表 3 大桥顶升监测项目及频率

监测项目	监测频率
上部结构标高	不少于 3 次
水平位移和竖向位移	实时监测
控制点三维坐标	不少于 3 次
裂缝	实时监测
应变	实时监测
温度	实时监测

3.3.6 支座更换

梁体顶升后，对原支座垫石的缺陷进行检查和处理(存在缺陷时，可采用环氧砂浆修补)，确保结构完好。然后进行梁底钢板、支座等部件的更换，橡胶支座按设计要求放置，支座中心线与支承垫石中心线重合，安装时控制纵向和横向误差均在允许范围内^[3]。实际作业前结合桥梁的实际情况，根据桥梁纵、横坡坡率，对支座垫石高程逐个核算，支座更换前对支座本体逐个进行检查。

3.3.7 落梁

支座更换完成后,采用逆顶升法落梁,按照先拆后降的原则进行落梁,将保险垛中的钢垫板逐步拆除,同步回落全部千斤顶。回落速度控制在 1 mm/min 范围内^[2],各顶升点移位同步精度要达到 0.5 mm 。落梁过程中,同步观测千斤顶的顶升力和梁体下降高度。千斤顶的顶升力和梁体总回落值不超出设计值和计算值。

将梁板同步缓缓下落至已更换好支座上,完成落梁后逐个仔细检查垫石、支座,确认位置正确且密贴、压紧后,移动千斤顶至下一墩顶。

4 施工经验

1) 顶升工具采用超薄型千斤顶,根据顶升措施和顶升力选取合适千斤顶,保证施工过程中的安全储备系数和施工规范要求。在正式顶升之前进行试顶,以消除顶升系统自身的非弹性变形或沉降。

2) 液压缸安装的垂直误差难以消除,实际施工中也会出现较多难以避免的不利因素,基本无法保证千斤顶的绝对竖直,但其轴线偏差应控制在 5° 以内。在顶升过程中会产生部分水平分力,为防止梁体失稳,通常采取纵横向限位装置约束梁体,并实时监控。

3) 梁体顶升时,在千斤顶周围布设足够保险垛,保险垛可由钢垫板组合而成,每顶升一级应及时垫充钢板保险垛,增大支撑体系的接触面积,提高梁体稳定性和安全性。顶升过程中严格监测湿接缝、横隔板、顶升处桥面等关键部位,观测其应力变化及跨中挠度变化,以保证施工时顶升匀速、顶升力均衡、上部结构纵横向不开裂、梁整体不被破坏。如桥面不慎出现横向裂缝,则在顶升结束后采用乳化沥青灌注桥面铺装裂缝。梁体顶升须采取同步顶升系统进行顶升施工,严格控制同墩台千斤顶行程差不得大于 1 mm ,相邻墩(台)之间的行程差不得大于 2 mm 。

4) 支座更换前,准确测量原支座厚度,与新支座存在偏差时,采用调平钢板调整,先精确计算需要增加的钢板厚度,调节钢板安装后再安装更换的新支座,支座垫石、钢板病害发生时,及

时使用高标号环氧树脂砂浆处理找平。新更换的支座必须保证每处压实,不得翘边,出现翘边时用钢板调整。落梁就位后检查各墩(台)实际顶升高度和支座调整情况。对依然存在脱空、初始剪切变形较大、偏压严重的支座重新安装调试。

5 实施效果

横向同步纵向逐墩顶升法更换支座在陈家贡湾特大桥改造工程中应用,成功解决该桥222个支座更换问题,该工法在施工的效率、安全、质量和成本控制方面效果显著,可作为后续类似工程施工典型。

1) 施工效率:横向同步纵向逐墩顶升法施工便捷,工效较高,且盯控人员集中易于控制施工质量,返工率低,效率可达纵向整联跨同步顶升法的2倍。

2) 施工安全:横向同步纵向逐墩顶升法顶升高度小,配合桥检车施工,安全性好,适用性强。

3) 施工质量:采用智能千斤顶进行桥梁单幅逐跨单端同步顶升,能够有效控制顶升高度及单跨各片梁体顶升高度差,操作空间控制精准,施工质量保障性高。

4) 经济效益:横向同步纵向逐墩顶升法大幅减少人员设备投入,本工程桥检车、千斤顶及配套材料投入是纵向整联跨同步顶升法的 $1/7$,且盯控人员少,成本节约50%以上。

6 结语

在桥梁工程中,桥梁支座使用年限远不及桥梁结构,为保证区域交通安全,提高桥梁耐久性和安全运营能力,需要定时检查,发现病害支座及时更换处理。横向同步纵向逐墩顶升法更换桥梁支座,从效率、经济、安全、质量和社会效益等各方面优势明显,通过陈家贡湾特大桥的应用实践,总结了施工经验,但仍需结合不同工程的实际情况开展更深层次的研究,以应对不同条件下桥梁改建施工的需要。

参考文献:

- [1] JTG F80/1—2017 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程[S].
- [2] GB/T 51256—2017 桥梁顶升移位改造技术规范[S].
- [3] JTG/T 3650—2020 公路桥涵施工技术规范[S].