

ZLD自动连续顶推系统在波形钢腹板PC组合梁桥施工中应用

窦勇芝¹ 廖君² 孙长军¹ 韦福堂¹ 刘文¹ 朱廷志¹

(1 柳州欧维姆工程有限公司 广西柳州 545005

2 柳州市鱼峰区中小企业创业基地管理服务中心 广西柳州 545006)

摘要:以国内郑州市陇海路快速通道工程常庄水库段波形钢腹板PC组合梁桥首次采用顶推施工法为背景,介绍了ZLD自动连续顶推系统应用于波形钢腹板PC组合梁桥顶推的施工方案设计、相关施工工艺和关键点,工程实践表明其同步控制、自动化程度高、施工灵活的优越性,能多点实时同步地根据墩顶水平反力、变形调整顶推力,提高了顶推工程施工的效率和安全性,有着广泛的应用前景。

关键词:自动连续顶推系统 波形钢腹板PC组合梁桥 顶推施工法

DOI: 10.13211/j.cnki.pstech.2015.03.005

1 工程概况

目前波形钢腹板PC组合梁桥顶推施工法已在国内外少数几座桥得到应用^[1,2],截止2013年底,国内郑州市陇海路快速通道工程常庄水库段波形钢腹板PC组合梁桥是国内该类型第一座基于顶推施工法施工桥梁(如图1所示)。该波形钢腹板PC组合梁顶推施工取得三项创新:一是该类型梁桥顶推施工在国内属首次;二是该类型顶推梁单双幅长度均为国内长度之最;三是采用斜腹板设计箱梁截面(如图2所示),同时使用波形钢腹板自身做导梁技术,也是国内第一次,填补了国内相应技术的空白。

其主线高架上部结构为等高度的波形钢腹板预应力混凝土组合连续箱梁。上部结构采用顶推法施工,两联相向分别从两端向YP10号墩方向顶推,梁体预制平台和临时墩设在联端两跨内。梁体分导梁段、顶推段和现浇段三种类型,其中导梁段位于梁体前段第一跨内,长度35m,顶推时利用该段波形钢腹板作为导梁主体结构,以节约导梁钢结构材料用量;顶推段含一段27.5m节段和若干50m节段,每联后方若干区域处于曲线段,为降低曲线顶推施工难度和充分利用预制平台支架,此区域部分梁体采用支架现浇施工。

波形钢腹板PC组合梁全长940m,共分YU01联和YU02联。YU01联长450m,分9个节段,其中顶推节段5个(不含导梁段),长度262.5m,

其余现浇段长度187.5m,如图3所示;YU02联长490m,分10个节段,其中顶推节段6个(不含导梁段),长度312.5m,其余现浇段长度177.5m,如图4所示。两联单幅顶推距离共575m。

本工程结合ZLD自动连续顶推系统设计波形钢腹板PC组合梁桥多点同步顶推施工方案,利用柔性钢绞线、反力支承系统、牵引锚固系统、滑道系统、纠偏系统、LSD液压顶推千斤顶集群、计算机控制和液压同步顶推原理,结合预制平台分节段依次预制波形钢腹板PC组合梁的施工方法,并将各节段依次通过各墩顶滑道系统滑移就位。



图1 波形钢腹板PC组合梁顶推施工全景

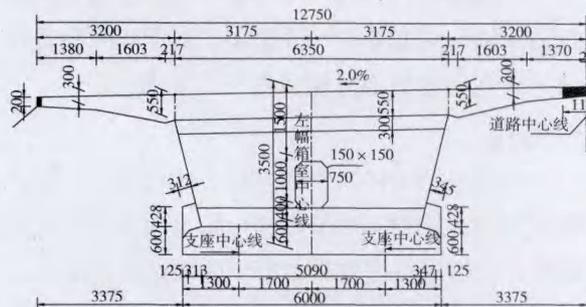


图2 波形钢腹板PC组合梁横截面示意图

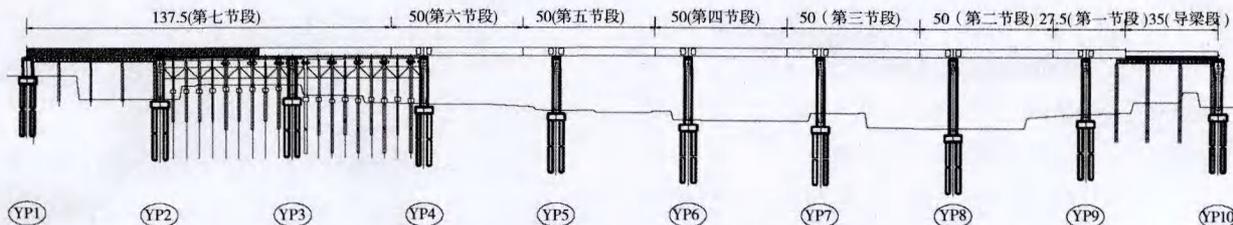


图3 YU01联顶推示意图

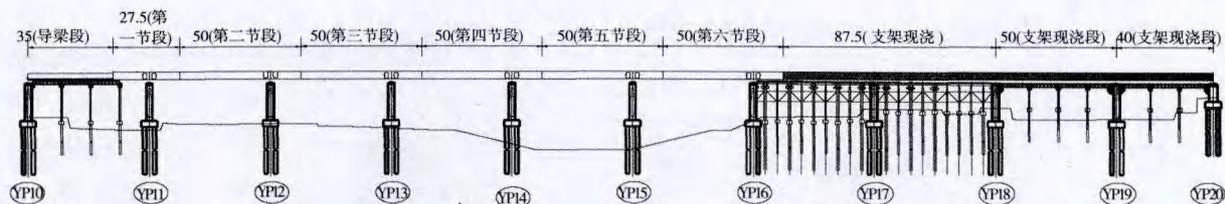


图4 YU02联顶推示意图

2 ZLD自动连续顶推系统简介

ZLD自动连续顶推系统由柳州欧维姆机械股份有限公司研发制造,其主要由自动连续顶推千斤顶、自动连续顶推泵站、主控台、行程开关和柔性钢绞线等组成^[3]。自动连续顶推千斤顶由2个穿心式千斤顶纵向串联而成。千斤顶、泵站和主控台关系如图5所示。

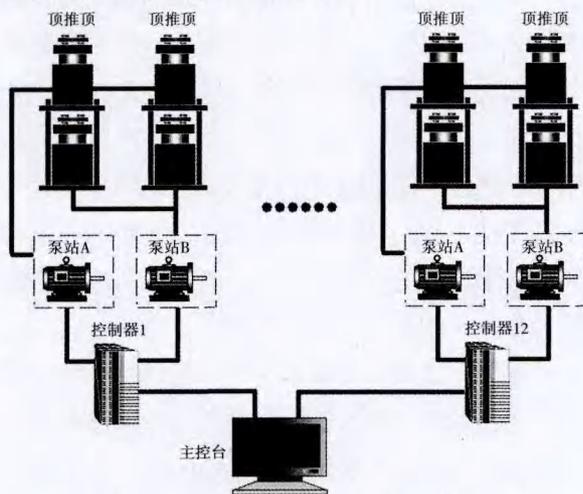


图5 千斤顶、泵站和主控台关系示意图

其控制过程是:用行程开关作为ZLD自动连续顶推系统的动作传感元件,它将自动连续顶推千斤顶活塞的位置信号传递给主控台,主控台将得到的信号进行逻辑组合后,再将控制信号传递给自动连续顶推泵站,自动连续顶推泵站通过电磁换向阀去控制相应自动连续顶推千斤顶的动作。该过程形成一个闭环系统,能够

自行调节自动连续顶推千斤顶的各种动作。

ZLD自动连续顶推系统的主要特点在于其连续性和同步性。连续性指能不断的并且匀速地将一大型物件水平顶推几十米甚至几百米的距离或水平转体任意角度;同步性指能多台千斤顶同步工作。其优越性克服了点顶推中由于反复启动、停止而对工程造成的不良影响,而且大大地加快了施工的速度。

3 多点同步顶推施工方案及实施

3.1 方案总体思路

如下以本工程YU02联单幅顶推介绍为主。

本工程YU02联顶推段重约7047t(含导梁),顶推过程顺桥向有0.5%纵坡,考虑启动静摩阻系数取0.1,顶推过程所需最大水平顶推力取740t,最大顶推跨径为50m,各永久墩间不设临时墩,采取多点同步拖拉式顶推施工工法。首先分别在预制平台临时滑道墩、永久墩上设置滑道系统;在YP11~YP16永久墩上设置反力支承系统,每个墩上共布置2台ZLD100自动连续顶推千斤顶,其技术性能如表1所示,6个墩共计设置12台顶推千斤顶;各永久墩根据各自抗推刚度分配总水平顶推力,其中YP16墩与预制平台临时墩通过联系杆件联成整体,作为主力墩具有较大抗推刚度,从而分担较大水平顶推力;在波形钢腹板PC组合梁顶、底板分别开设预留孔设置牵引锚固系统,通过柔性钢绞线与反力支承系统连

接,牵引梁体顶推滑移,配置抗拉强度1860MPa、公称直径15.24mm钢绞线8根。另外,顶推过程需进行梁体动态主动纠偏,在YP11~YP16永久墩上设置限位纠偏系统。

由1台计算机主控台控制6台ZTB自动连续顶推泵站(如表2所示),每台泵站驱动2台ZLD100自动连续顶推千斤顶同步顶推滑移。同时,每个桥墩配置一个现场控制器,每个现场控制器均带有触摸屏显示,可控制1个泵站和2套顶推千斤顶,同时将所有的数据传送到主控台。操作面板上安装有急停开关、远程/就地选择开关、报警指示灯等。在远程控制状态下,现场控制箱只能进行停止操作;在就地控制状态下,现场控制箱可对本泵站上的任何一台或多台顶进行自动、手动操作。

表1 ZLD100自动连续顶推千斤顶技术性能

| 项目 | 单位 | 性能指标 |
|--------|----------------|-------------------------|
| 公称张拉力 | kN | 1000 |
| 穿心孔径 | mm | φ125 |
| 公称油压 | MPa | 31.5 |
| 外形尺寸 | mm | φ400×1580 |
| 张拉活塞面积 | m ² | 3.1416×10 ⁻² |
| 质量 | kg | 800 |
| 回程活塞面积 | m ² | 1.1074×10 ⁻² |
| 张拉行程 | mm | 200 |

表2 ZTB自动连续顶推泵站技术性能

| 项目 | 单位 | 性能指标 |
|------|-------|----------------|
| 额定压力 | MPa | 30 |
| 理论流量 | L/min | 15×2 |
| 电机转速 | r/min | 970 |
| 电机功率 | kW | 20 |
| 油箱容积 | L | 250 |
| 质量 | kg | 800 |
| 外形尺寸 | mm | 1350×1200×1500 |
| 液压油 | | 10-30号液压油 |

3.2 多点同步顶推系统设计要点

(1) 多点顶推施工的动力学基础^[4]:

$$\sum H_i = \sum R_i f_i \pm G I$$

式中: H_i —第*i*桥墩千斤顶顶推力;

R_i —*i*号桥墩支反力;

f_i —*i*号桥墩上滑道的摩擦系数;

G —顶推箱梁总重;

I —顶推箱梁的纵向设计坡度,上坡取“+”,下坡取“-”。

表达式的物理意义为:把顶推设备分散于各个桥墩(或桥台)、临时墩上,分散抵抗各墩水平反力。当顶推力之和等于阻力之和时梁体开始移动。

(2) 设备的同步性;ZLD自动连续顶推系统泵站油路设计保证同一墩顶两台顶推千斤顶由一台油泵控制,油泵内分流阀可确保两台千斤顶流量相同,溢流阀确保千斤顶不会超出限压。可保证单墩上两台千斤顶同步性和安全性。另外,各墩之间设备的同步性通过千斤顶行程、位移及压力监测,实时由计算机统一控制来实现。

(3) 连续顶推控制策略;采取以顶推力、墩顶位移控制为主,速度同步控制为辅,载荷追踪、均衡受控的控制策略。以各墩墩顶支反力、水平位移为控制依据,顶推千斤顶的顶推力和速度作为受控变量,实现力与速度的双控。为避免顶推启动出现梁体窜动现象,采取集中控制、分级调压、差值限定的方法^[5],考虑顶推启动静摩擦系数取0.1,动摩擦系数取0.05,来预计计算水平顶推力,当水平顶推力加载直至梁体开始移动,水平顶推力逐渐降低加载等级以适应摩擦系数的变化来实现各墩同步顶推。

同时,墩顶不平衡水平力须保持在可控范围内,通过如下措施保证:①单个墩顶推设备限压控制确保顶推力不超限;②主动限位调整位移:通过墩顶水平限位装置,实时监测墩顶位移,墩顶坐标偏移到达设定值时立即主动调整顶推力,使墩顶位移保持在可控范围内。

上述设计要点确保顶推过程中梁体轴线的偏移、墩柱的位移及梁体、墩柱的受力状况满足设计规范和施工安全要求。

3.3 顶推施工工艺流程

顶推施工工艺流程如图6所示。

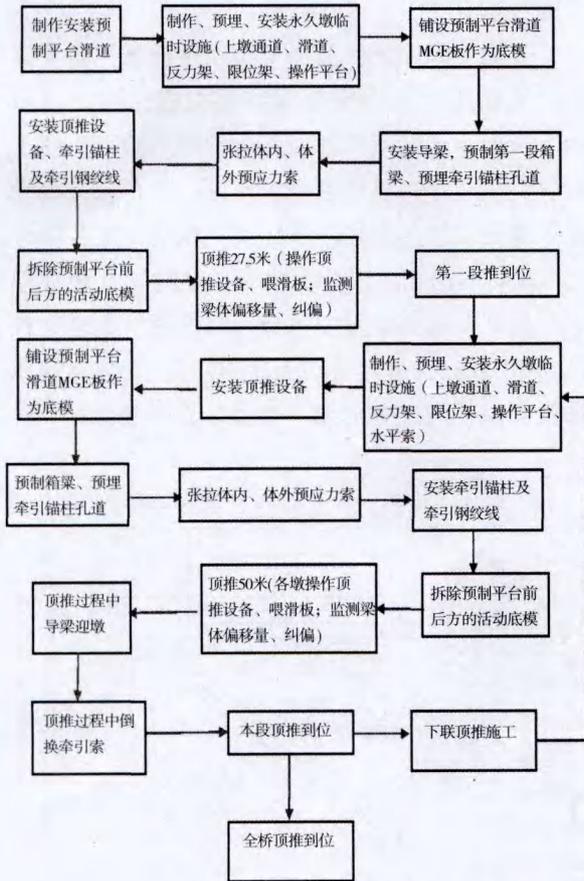


图6 顶推施工工艺流程

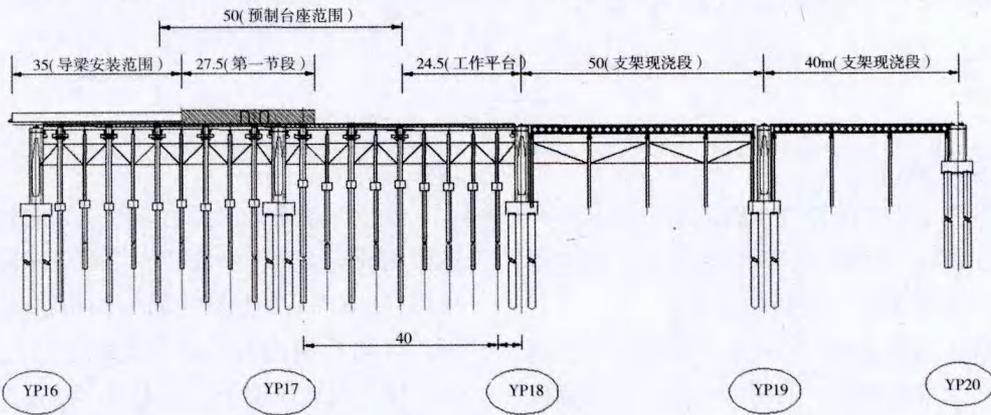


图7 预制平台示意图

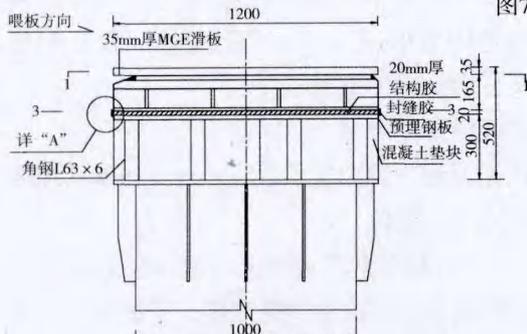


图8 预制平台滑道系统立面示意图

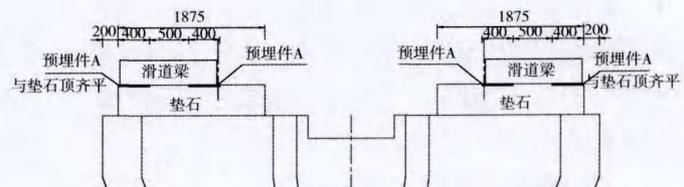


图9 永久墩滑道系统侧面示意图

3.4 主要顶推临时设施

3.4.1 预制平台滑道系统

预制平台是预制梁体和顶推过渡的场地（如图7所示），包括主梁节段的浇筑平台，模板、钢筋和钢索的加工平台以及导梁的安装平台。主要包括：钻孔灌注桩基础、承台基础、钢管桩支墩、钢管桩滑道墩、桩顶分配梁、底模升降系统、底模系统、支架连接系等构成。

钢管桩滑道墩上设置滑道系统，滑道系统由滑道梁、不锈钢板、MGE高分子材料板^[6]构成，如图8所示。滑道梁由钢板拼焊成箱式结构。滑道顺桥向前后分别加工成坡型口，以方便MGE喂板。不锈钢板平铺外包于滑道梁调平钢板上焊接固定，所有焊接口需进行磨光处理。在滑道上均匀涂抹润滑油脂，将35mm厚MGE板（设有储油槽侧）平铺在滑道上，不锈钢面与MGE面组成可滑移摩擦副面。一个滑道上设置4块0.6m×0.6m的MGE板。

3.4.2 永久墩滑道系统

永久墩滑道系统设置在垫石预埋件上，并与预埋件焊接固定，滑道系统同预制平台，如图9、10所示。一个滑道上设置6块0.6m×0.6m的MGE板。

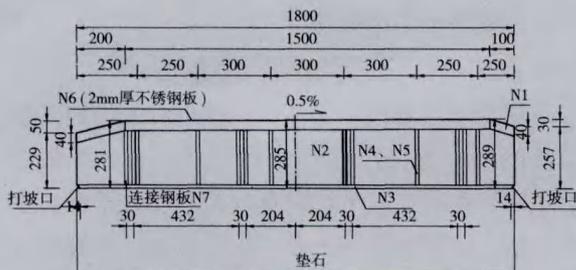


图10 永久墩滑道系统立面示意图

3.4.3 反力支承系统

千斤顶反力支承系统设置在永久墩墩身上,通过6排预应力精轧螺纹钢与墩身连接,墩身预

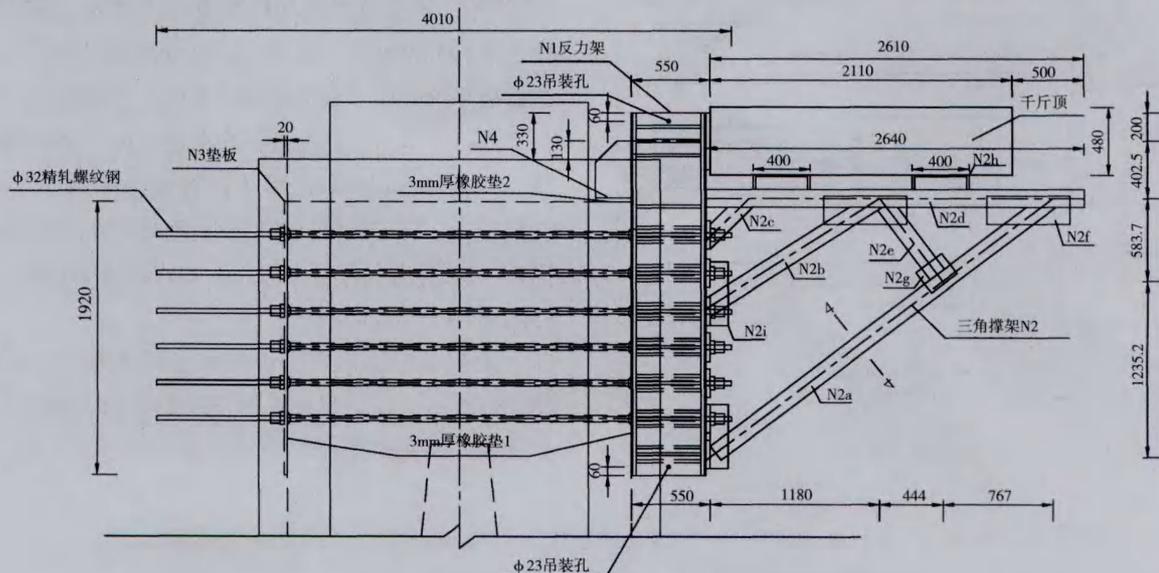


图11 反力支承系统立面示意图

3.4.4 牵引锚固系统

顶推牵引锚固系统设置在波形钢腹板PC组合梁端,需在顶板、底板处分别预埋孔道,同时该位置需避开梁内预应力钢筋布置。

牵引锚固系统由牵引锚柱、上横梁、牵引钢绞线、锚固装置等构成,如图12所示。牵引锚柱断面设计成背对背槽形截面,便于牵引钢绞线穿过锚固装置,并在悬臂端设置牛腿支撑局部加强。上横梁通过紧固螺栓连接将牵引锚柱固定在箱梁顶板上,并分担顶推过程中竖直分力。锚固装置采用OVM型锚具、夹片及压板装置进行机械自锁锚固。

3.4.5 限位纠偏系统

限位纠偏系统设置在永久墩各侧面,通过2排预应力精轧螺纹钢与墩身连接,墩身预埋螺纹

埋螺纹钢孔道。

反力支承系统由反力支架、千斤顶三角支撑架、连接用预应力精轧螺纹钢构成,如图11所示。反力支架断面设计成背对背槽形截面,便于牵引钢绞线穿过连续顶推千斤顶,并在悬臂端设置牛腿支撑局部加强。千斤顶三角支撑架各杆件由双[14b槽钢相向拼焊而成,并通过连接板焊接成三角架。连接墩身用预应力精轧螺纹钢公称直径为 $\phi 32\text{mm}$,强度等级为HPB785,安装时需预张拉,保证与反力支架、墩身分别锁紧锚固。

钢孔道。

限位纠偏系统由反力支架、导向轮纠偏器、连接用预应力精轧螺纹钢、纠偏千斤顶构成,如图13所示。反力支架断面为钢板拼焊成箱式截面,导向轮纠偏器与反力支架之间通过螺栓栓接,便于安装纠偏千斤顶实现纠偏施工。连接墩身用预应力精轧螺纹钢公称直径为 $\phi 32\text{mm}$,强度等级为HPB785,安装时需预张拉,保证与反力支架、墩身分别锁紧锚固。

3.5 主要施工要点

3.5.1 滑道系统、反力支承系统、限位纠偏系统和牵引锚固系统就位

(1) 预制平台滑道墩上滑道系统兼作波形钢腹板PC组合梁桥底板浇筑底模,安装时保证与周围底模接缝平齐,密封密实,且接缝处加强支

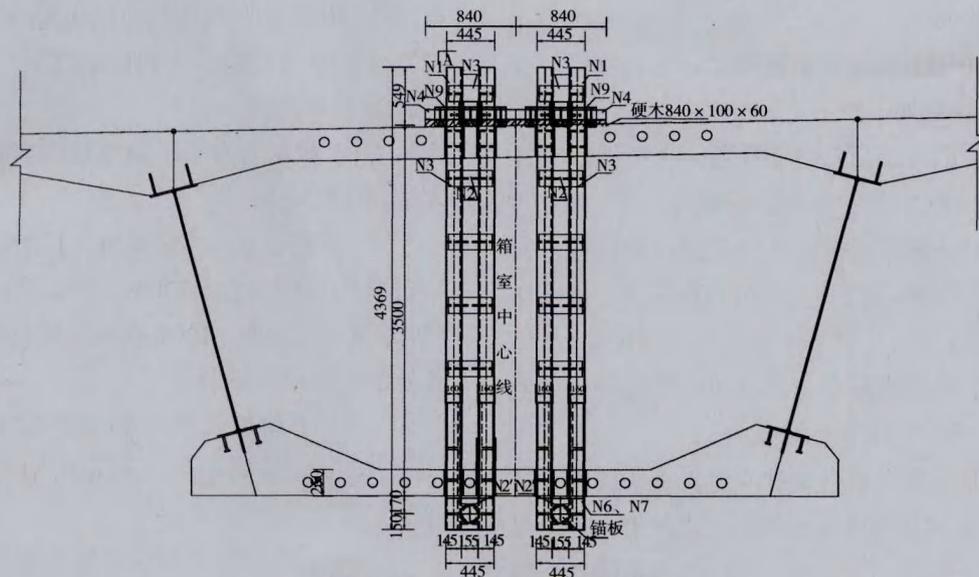


图12 牵引锚固系统侧面示意图

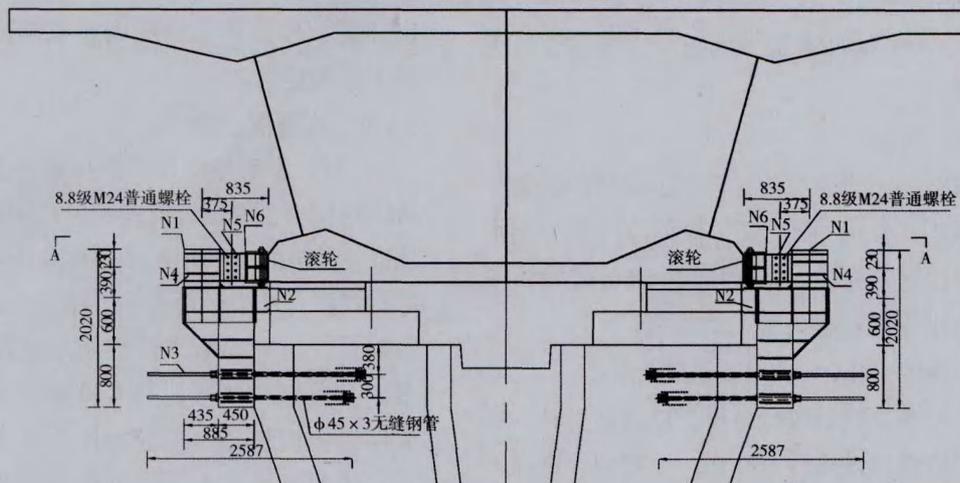


图13 限位纠偏系统侧面示意图

撑，避免底板混凝土浇筑在接缝处产生错台，从而影响滑道面填塞滑板及顶推滑移施工。

(2) 待永久墩施工完毕后，即可依次安装墩顶滑道系统、墩身反力支承系统和限位纠偏系统。墩顶滑道系统与墩顶预埋件焊接固定，滑道面标高满足顶推施工要求；墩身反力支承系统、限位纠偏系统与墩身连接用预应力精轧螺纹钢需进行张拉锚固。

(3) 待预制平台波形钢腹板PC组合梁施工完毕并落底模后，即可安装牵引锚固系统。安装牵引锚固系统需保证牵引索中心与反力支撑系统千斤顶中心在一直线上。

3.5.2 ZLD连续顶推系统的安装

将千斤顶按编号吊装到位，并按规定的工法安装导向、安全夹持器及传感装置。安装时注意如下事项：

(1) 千斤顶与底座间应用螺栓固定（以方便拆装），并保证千斤顶中心孔与反力支承架、牵引锚柱预留孔中心对中，确保中心偏差不大于5mm，以免顶推时钢绞线受扭曲折。

(2) 按设计编号在千斤顶、液压泵之间一一对应连接管线。连接完成后再次进行检查核对，确保管线连接无误。

(3) 控制室安放在桥下，用电缆把控制信号送到顶推平台处。电气线路电缆需铺放并固定好，避免人员踩踏或硬物损伤。

3.5.3 穿钢绞线

千斤顶就位后,在其下方搭设平台穿束。穿束时主要注意如下事项:

(1) 用液压泵站将千斤顶上夹持器的夹片打开,并支起安全、导向夹持器的夹片。

(2) 将钢绞线按编号依次穿过梳线板、安全夹持器、顶推千斤顶、导向夹持器,并伸出导向夹持器1m左右,然后压紧夹持器的夹片。

(3) 钢绞线按左、右旋向间隔排布,为便于穿索,可用引线装置导向。

(4) 用梳线板将穿过反力支承架预留孔的钢绞线梳理后反锚在牵引锚柱处夹持器上,确保钢绞线间不缠绕、不交叉。钢绞线露出锚具压板长度控制为50mm以上,压板螺钉需紧固。

(5) 调整构件夹持器的扭角,使钢绞线无整体扭转。

3.5.4 钢绞线预紧

钢绞线在正式受力前必须用倒链单根预紧,每根预紧力约1.5t,以保证每根钢绞线受力基本一致。单根预紧完成后将千斤顶调整到手动顶推状态,利用主顶对整束钢绞线预紧。

3.5.5 系统空载调试

系统安装完成后进行试机,以保证手动、自动过程中操作与设备运行动作一一对应、正确。

联机调试时,启动泵站,选择手动运行模式,在主控台操作面板上控制执行元件伸缸或缩缸动作,检查其进行的动作是否正确,调节行程检测装置的检测元件,使检测装置的接触及检测正常。

系统手动试机完成后,选择自动模式系统,检查系统各千斤顶的动作协调性及同步性。如不满足设计要求,认真查找原因,排除故障,待系统的动作完全协调后方表明系统调试正常合格。

3.5.6 顶推前准备工作检查

顶推前要再次对顶推装置的液压系统、电路系统、锚夹具系统、控制与显示系统及钢绞线进行全面细致检查,并记录于表。同时检查预制平

台顶推主体结构与周围临时结构间的纵、横向联系完全拆除,无拖挂、无阻碍。

3.5.7 试顶推调整

(1) 控制所有千斤顶主顶回到起始位,进入手动顶推准备。

(2) 手动操作控制系统,适时调整泵站限压,给千斤顶逐次增加20%、40%、60%、80%、85%、90%、95%、100%载荷,加载时随时观测各处情况并作好记录。

(3) 手动加载将波形钢腹板PC组合梁顶推至50mm,期间组织人员定时对各结构进行观测。

(4) 检查结构焊缝、结构变形是否正常。

(5) 检查所有设备(千斤顶、锚具、各行程开关、控制开关、压力表、钢绞线、编码仪等)是否正常。

3.5.8 正式顶推过程

(1) 手动操作顶推系统牵引主梁滑移启动后,转换至自动运行模式,进行主梁的自动连续顶推。顶推时以墩顶水平位移和压力传感器读数进行双控,其中墩顶水平位移用全站仪观测读数确定,要求墩顶水平位移满足结构安全允许范围。墩顶水平位移观测人员随时与油泵操作人员保持密切联系,指导操作人员进行操作。同时,各油泵操作人员通过压力传感器读数随时进行调整。

(2) 在自动顶推过程中,如果各顶同步误差超过控制系统的设定误差,系统将自动调整;如果同步误差超过控制系统设定的最大误差,系统将自动进入紧急停机,等待调整;调整完毕,进入准顶推状态,再次启动自动顶推。

(3) 顶推过程中,观察顶推过程中同步控制误差对构件的影响;注意记录顶推过程中的油压最大、最小值,并时刻监测顶推结构状态偏移是否在规定范围内,在误差出现时需及时进行动态纠偏。

(4) 顶推过程随时监控负荷、结构状态、及顶推通道是否畅通。

(下转第36页)

防护,对外露碳纤维板表面涂抹环氧水泥胶液防护。



图11 压条安装

3 检查与验收

(1) 由于张拉碳纤维板施工在公路施工是一项新工艺,没有成熟的工艺规范与规定,我们针对设计意图,参照相应标准制定了施工中的控制标准,在施工过程中严格执行。

(2) 锚具钢构件的加工的材质、厚度、螺孔位置、螺杆长度是确保锚具满足设计要求关键指标,满足设计要求及《机械加工手册》、《公路桥涵施工规范》的相关规定,经现场检查验收,均满足设计要求。

(上接第28页)

(5) 自动连续顶推过程中随时对主梁的轴线偏移进行监测,若监测主梁轴线偏离设计轴线30mm,则启动导向轮纠偏器后端纠偏千斤顶进行主动动态纠偏。

3.5.9 顶推工程实施情况

于2014年8月1日, YU01联首节南半幅波形钢腹板PC组合梁,长27.5m,宽12.5m,钢腹板和预制混凝土重量为910t,采用顶推法施工工艺,向前顶推就位长度为32.3m,平均每小时顶推速度为6m~8m,历时8h顺利完成。ZLD自动连续顶推系统在该工法施工应用中显示出自动化程度高、施工过程控制简便、稳定可靠的优越性,达到了预期良好的工程效果。陇海路高架桥已于2015年1月建成通车。

4 结语

ZLD自动连续顶推系统在波形钢腹板PC组合梁顶推施工的应用,大大提高了工程施工的效

(3) 根据设计要求,参照《预应力砼施工规范》的相关规定,碳纤维板张拉采用张拉力与伸长值双值控制,由于碳纤维板为多层碳纤维布粘结而成,其弹性模量差异系数相对较大,确定其张拉伸长量容许误差为 $\pm 6\%$,实际施工中经检查验收满足设计要求。

4 结论

通过四川南充清泉寺特大桥的张拉碳纤维板施工实践及后期的检测结果表明,施工成果完全符合设计预期效果,张拉碳纤维板施工工序简单可靠、工艺简捷可控,是预应力体外施工提高梁体承载力的有效方法。

参考文献

- [1] 中交第一公路工程有限公司. JTG/T F50-2011 公路桥涵施工技术规范[S]. 人民交通出版社, 2008年.
- [2] 中交第一公路勘察设计研究院有限公司. JTG/T J23-2008 公路桥梁加固施工技术规范[S]. 人民交通出版社, 2008年.
- [3] 姜新佩, 刘丽娜, 邓子辰. 预应力碳纤维布加固混凝土的试验及施工技术[J]. 建筑技术, 2007, 38(6): 452-454
- [4] 赵彤, 谢剑. 碳纤维布补强加固混凝土结构新技术[M]. 天津大学出版社

率,缩短了施工周期;而且由于其自身具有同步控制、自动化程度高的特点,安全可靠,便于施工过程控制。因此,对于桥梁顶推施工工法,具有施工占地少、结构整体性好、施工工期短等优点, ZLD自动连续顶推系统有着广泛的应用前景。

参考文献

- [1] 王卫, 张建东等. 国外波形钢腹板组合桥梁的发展与现状[J]. 现代交通技术, 2011, 8(6): 31-33, 52.
- [2] 李广慧, 张建勋. 波形钢腹板预应力混凝土箱梁桥顶推施工技术[J]. 施工技术, 2010, 39(7): 118-120.
- [3] 韦福堂, 谢永红等. YDCLD自动连续顶推系统在顶推施工中的应用[J]. 公路, 2001, (2): 29-33.
- [4] 董启军. 连续钢箱梁顶推施工[J]. 施工技术, 2005, 34(5): 20-22.
- [5] 任明飞, 刘晓霞. 东海大桥平曲线预应力混凝土顶推连续梁的设计与施工[J]. 预应力技术, 2005, (2): 17-21, 34.
- [6] 李艳哲, 蔡红珍. 桃花峪黄河大桥顶推施工方案设计与创新[J]. 施工技术, 2013, 42(11): 69-72, 91.