

# LSD 液压提升系统在青岛 308 国道改建工程 福州路立交四孔连续板梁同步转体提升施工的应用

莫天玲 孙毅峰 周庠天 刘文雷 益

**【摘要】**本文介绍了 LSD 液压提升系统在大重量、大跨度连续梁转体提升工程中的应用,同时介绍了连续梁转体的提升平衡算法、计算机控制调节流程及连续梁转体提升和提升工法。

**【关键词】**大跨连续梁 转体提升施工 提升平衡 液压提升

## 一、工程概况

福州路立交桥是连接 308 国道与福州路的交通要道。因改建需要,需将一榀四孔连续板梁整体液压提升一定高度。该板梁跨度为  $4 \times 25\text{m}$ ,重量约为 1800 吨,改建施工要求连续板梁的 0# 支墩处不动,其他以 0# 支墩为轴心,逆时针旋转 3 度 21 分 33.9 秒,1# 至 4# 墩在转体过程中分别被提升的高度为 1.468m、2.936m、4.408m、5.828m,由于墩柱位置不变,板梁转体后相对变长;当连续板梁转体到位后,整体同步提升 12cm 后静置,等待新支墩浇筑完成,同步下放连续板梁至新支墩上,完成整个施工过程。在连续板梁的转体、提升和下放的过程当中必须保证相邻两支墩处的变形不超过 10mm。其施工有以下特点:

- 1、该板梁跨度大,为  $4 \times 25\text{m}$ ,在转体中必须多点承力,同步转体;
- 2、其板梁重量较大,总重约为 1800 吨;
- 3、由于连续板梁在外力作用下容易碎裂,所以在转体、提升和下放的过程中各承力点之间要求很高的控制精度;
- 4、0# 墩为立交桥转弯连接处,1# 至 0# 墩段板梁向内弯曲,0# 为左右支称的旋转支点,其偏离轴线,容易产生应变;
- 5、1# 至 4# 点承力以 0# 为支点旋转,1# 至 4# 点各自的行程在提升过程中不相等。

莫天玲:柳州欧维姆机械有限责任公司 工程师

## 二、施工方案概述

- 1、在 1 至 4# 墩台附近设置临时基座,该临时基座需经过专门设计满足承载要求,其选址需满足板梁最佳受力位置,基座的顶面预埋龙门架支腿的固定螺栓及揽风绳的固定埋件。
- 2、在基座上用军用贝雷架搭设龙门架支腿,其位置尽量贴近板梁边缘,搭设高度(考虑由于板梁偏移而需的自由高度)应为:提升高度+板梁高度+3M,然后在两支腿之间安装提升平台。
- 3、提升龙门架的支腿,提升平台大梁以及板梁下的扁担梁均专门设计,制造满足其承载要求。
- 4、各处龙门架搭设完毕后用钢丝绳或钢绞线设置揽风绳,其设置均需满足有关规范要求。
- 5、本工程提升选用 OVM 公司的 LSD 液压提升系统,并由 OVM 公司专项施工。根据每墩台处的荷载不一样,计划在 4# 号墩台龙门架上设置 2 台千斤顶,其余三个墩台处各设置 4 台千斤顶,每台千斤顶配置 18 根 1860Mpa 级的钢绞线。
- 6、在千斤顶正下方板梁的翼缘板内侧处凿穿直径为 270mm 的洞,钢绞线依次穿过千斤顶,提升平台,板梁,与扁担梁通过构件夹持器相连接。
- 7、所有千斤顶的速度均由泵站的流量来控制,因为 1 至 4 号墩台板梁提升高度比约为 1:2:3:4,即控制泵站流量使各相应千斤顶的速度比为 1:2:3:4,并保证各相邻提升位置的提升程高程误

差不超过 10mm, 即可保证板梁被同角速度提升而不发生变形破坏。

8、提升到位后, 将千斤顶的下夹持器夹紧、安全夹持器锁死, 对板梁用钢丝绳设置揽风绳以防晃动, 待墩柱浇筑到达强度后, 所有千斤顶同步下放将板梁落放到墩台的支座上。

### 三、LSD 液压提升系统的组成

根据工程的具体特性及特殊要求, 选择具有控制精度高等特点的 LSD 液压提升系统, 其设计原理基于模块化设计(系统原理请参阅《LSD 液压提升系统原理与应用》, 2000.2.《OVM 通讯》)。按其工程需要及相应的设计原理把提升系统设备作如下配置:

#### 1、千斤顶承重系统组成

(1) 由于连续板梁重量大、跨度较大, 根据梁型及其重量的分布情况把千斤顶承重分布设计如下:

把梁按结构均分为 4 段, 梁面的最高端点设计为 0# 点, 最低端点设计为 4# 点, 中段由上至下设计为 1#、2#、3# 点; 从 0# 至 4# 各点的承重力约为 250 吨、500 吨、500 吨、500 吨、250 吨。设置提升龙门塔架 4 个、扁担梁 2 台、LSD200 千斤顶 14 台、扁担梁 7 根。0# 点设计为旋转原点, 在梁下两端桥台设置扁担梁 2 台, 扁担梁编号为 15# 顶、16# 顶; 1# 点、2# 点、3# 点、4# 点设计为提升吊点; 其中 1# 吊点设置千斤顶 4 台, 面向 0# 点左右分布并向下排序, 1# 顶(左)、2# 顶(右); 3# 顶(左)、4# 顶(右); 由 2 × 18 根 1860Mpa 级的钢绞线穿过 1# 顶、2# 顶, 穿过板梁的翼缘板内侧处的左右凿洞与 1# 扁担梁连接托住连续板梁, 构成 1# 顶、2# 顶与连续板梁的承力系; 由 2 × 18 根 1860Mpa 级的钢绞线穿过 3# 顶、4# 顶, 穿过板梁的翼缘板内侧处的左右凿洞与 2# 扁担梁连接托住连续板梁, 构成 3# 顶、4# 顶与连续板梁的承力系; 同理, 2# 吊点设置千斤顶 4 台, 5# 顶(左)、6# 顶(右);

7# 顶(左)、8# 顶(右); 由 2 × 18 根钢绞线穿过 5# 顶、6# 顶及相应凿洞与 3# 扁担梁构成 5# 顶、6# 顶与连续板梁的承力系; 由 2 × 18 根钢绞线穿过 7# 顶、8# 顶及相应凿洞与 4# 扁担梁构成 7# 顶、8# 顶与连续板梁的承力系; 3# 吊点设置千斤顶 4 台, 9# 顶(左)、10# 顶(右); 11# 顶(左)、12# 顶(右); 由 2 × 18 根钢绞线穿过 9# 顶、10# 顶及相应凿洞与 5# 扁担梁构成 9# 顶、10# 顶与连续板梁的承力系; 由 2 × 18 根钢绞线穿过 11# 顶、12# 顶及相应凿洞与 6# 扁担梁构成 11# 顶、12# 顶与连续板梁的承力系; 4# 吊点设置千斤顶 2 台, 13# 顶(左)、14# 顶(右); 由 2 × 18 根钢绞线穿过 13# 顶、14# 顶及相应凿洞与 7# 扁担梁构成 13# 顶、14# 顶与连续板梁的承力系; 其承力分布结构如图 1。

#### (2) 安全系数验算

##### ① 总起重能力储备系数

$$(14 \text{ 台} \times 200 \text{ t/台}) / 1800 \text{ t} = 2800 \text{ t} / 1800 \text{ t} = 1.6$$

##### 1#、2#、3# 吊点起重能力储备系数

$$(4 \text{ 台} \times 200 \text{ t/台}) / 500 \text{ t} = 800 \text{ t} / 500 \text{ t} = 1.6$$

##### 4# 吊点起重能力储备系数

$$(2 \text{ 台} \times 200 \text{ t/台}) / 250 \text{ t} = 400 \text{ t} / 250 \text{ t} = 1.6$$

因此, 具有足够的起重能力储备。

##### ② 钢绞线的安全系数

单个支墩处 500 吨力, 最不利时荷载按 1.4 倍计, 即 700 吨。

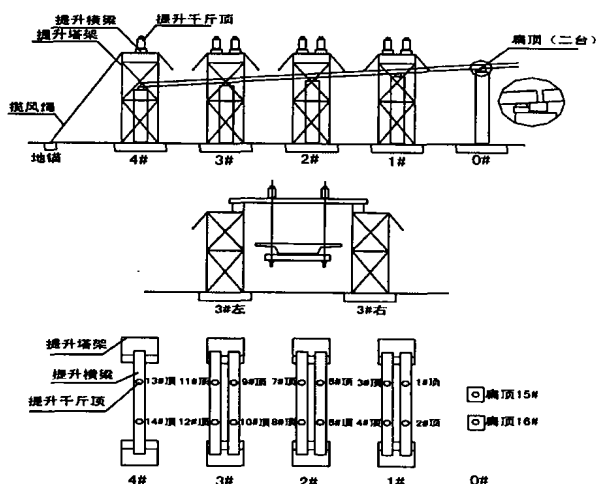


图 1 承力系统结构分布图

18 根 / 台 × 4 台 × 26t / 根 / 700T = 2.67

满足钢绞线的安全要求。

### 2、液压系统的组成

液压系统的构成必须满足千斤顶分布的要求, 适应 1#、2#、3#、4# 吊点行程不等的要求, 同时要求液压系统在一定程度上可自动均衡因提升带给梁的应力。设置 YTB 液压泵站 2 台、YTB.A 调节阀组 1 套、YTB.B 调节阀组 3 套、ZB4-500 泵站 2 台; 0# 点由 2 台 ZB4-500 泵站分别供给 15#、16# 扁顶形成独立的液压供油系统; 1# 吊点的控制阀组 (1# 阀组) 由一套 YTB.B 调节阀组构成, 分别给 1#、2#、3#、4# 千斤顶的主缸、上夹持器、下夹持器按控制系统发出的控制信号调节供油; 2# 吊点的控制阀组 (2# 阀组) 由一套 YTB.B 调节阀组构成, 分别给 5#、6#、7#、8# 千斤顶的主缸、上夹持器、下夹持器按控制系统发出的控制信号调节供油; 1# 阀组、2# 阀组由 1 台 YTB 液压泵站 (1# 液压泵站) 供油; 这样: 由 1#~8# 千斤顶的主缸、上夹持器、下夹持器及 1# 阀组、2# 阀组和 1# 液压泵站组合成独立的液压系统; 同理: 3# 吊点的控制阀组 (3# 阀组) 由一套 YTB.B 调节阀组构成, 分别给 9#、10#、11#、12# 千斤顶的主缸、上夹持器、下夹持器按控制信号调节供油; 4# 吊点的控制阀组 (4# 阀组) 由一套 YTB.A 调节阀组构成, 分别给 13#、14# 千斤顶的主缸、上夹持器、下夹持器按控制信号调节供油; 3# 阀组、4# 阀组

由 1 台 YTB 液压泵站 (2# 液压泵站) 供油; 这样: 由 9#~14# 千斤顶的主缸、上夹持器、下夹持器及 3# 阀组、4# 阀组和 2# 液压泵站组合成独立的液压系统; 连续板梁转体提升时 1#、2#、3#、4# 阀组的调速阀流量分别调节为 5L/min、10L/min、15L/min、10L/min; 连续板梁平衡提升、下放时 1#、2#、3# 阀组的调速阀流量同时调节为 16L/min; 4# 阀组的调速阀流量同时调节为 8L/min; 其液压系统简图如图 2。

### 3、控制系统组成

控制系统设置 QW1T16A 型控制系统 1 套, 激光测距装置 4 套, 千斤顶行程检测装置 14 套构成控制系统。在 1# 吊点设置激光测距装置 1 套, 其输出端连接到 QW1T16A 的计算机端口; 1#~4# 千斤顶各设置 1 套千斤顶行程检测装置, 其输出端连接到 QW1T16A 的计算机端口; 1# 吊点的控制阀组由 QW1T16A 的阀体控制、流量调节装置输出通道 1# 端口控制; 同理: 在 2#、3#、4# 吊点各设置

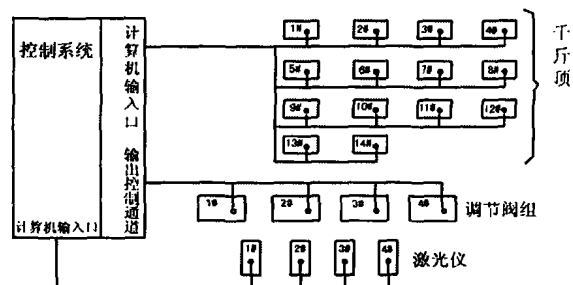


图 3 控制系统连接框图

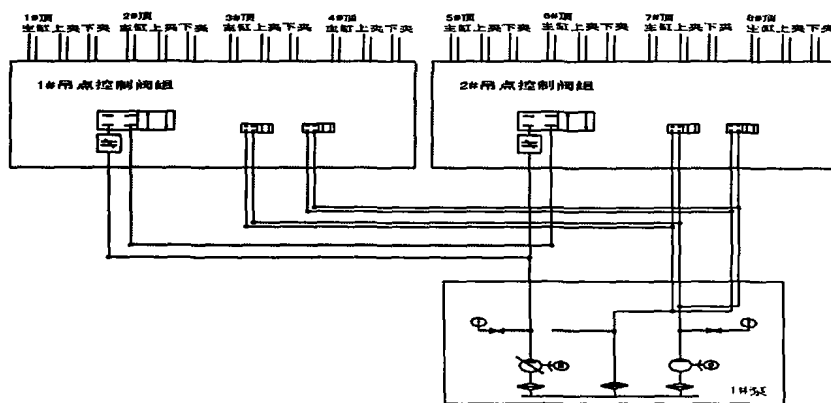


图 2 液压系统 1#、2# 吊点结构简图

激光测距装置 1 套, 其各输出端连接到 QW1T16A 的计算机端口; 5#~14# 千斤顶各设置 1 套千斤顶行程检测装置, 其输出端连接到 QW1T16A 的计算机端口; 2#、3#、4# 吊点的控制阀组由 QW1T16A 的阀体控制、流量调节装置输出通道 2#、3#、4# 端口分别控制; 其承重系统、液压系统、控制系统的连接框图如图 3。

控制系统控制液压油路、液压油路控制千斤顶、千斤顶运作通过承载机构带动提升构件、千斤顶的行程检测装置及提升构件上的激光测距装置把其动作的状态送入控制系统、控制系统根据千斤顶及提升构件动作的状态再控制液压油路组成一个由控制系统控制的闭合连动系统。

(1) 系统连动过程遵守如下动作工法:

起动→紧下锚

→缩缸到下限位

→紧上锚、起动激光检测

→同步伸缸、起动转体平衡系统

→同步伸缸到上限位、关闭转体平衡系统

→紧下锚、关闭激光检测→

(2) 转体平衡是系统最关键的部分, 它是决定连续梁在提升过程中安全、完好的重要因素, 计算机控制系统按激光测距仪送来的数据处理运算、输出控制系统转体提升, 控制系统转体提升平衡的控制算法如下:

设 1#、2#、3#、4# 各点的零点为  $H_{10}$ 、 $H_{20}$ 、 $H_{30}$ 、 $H_{40}$ ;

设 1#、2#、3#、4# 各测点距 0# 点的距离为  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 、 $L_4$ ;

设 1#、2#、3#、4# 各点转体在某位置的实际提升值为  $H_1$ 、 $H_2$ 、 $H_3$ 、 $H_4$ ;

则 1#、2#、3#、4# 各点转体在某位置的标准提升值为

$$H_{11} = L_1/L_4 \times H_4;$$

$$H_{22} = L_2/L_4 \times H_4;$$

$$H_{33} = L_3/L_4 \times H_4;$$

$$H_{44} = H_4;$$

则 1#、2#、3#、4# 各点转体在某位置的提升误差值为:

$$H_{\Delta 1} = H_1 - H_{11}$$

$$H_{\Delta 2} = H_2 - H_{22}$$

$$H_{\Delta 3} = H_3 - H_{33}$$

$$H_{\Delta 4} = 0$$

如  $H_{\Delta 1}$ 、 $H_{\Delta 2}$ 、 $H_{\Delta 3}$ 、 $H_{\Delta 4}$  的最小值为  $H_{\Delta}$ , 则连续梁转体在某位置 1#、2#、3#、4# 各点之间的相对误差为:

$$\Delta H_1 = H_{\Delta 1} - H_{\Delta};$$

$$\Delta H_2 = H_{\Delta 2} - H_{\Delta};$$

$$\Delta H_3 = H_{\Delta 3} - H_{\Delta};$$

$$\Delta H_4 = H_{\Delta 4} - H_{\Delta};$$

按  $\Delta H_1$ 、 $\Delta H_2$ 、 $\Delta H_3$ 、 $\Delta H_4$  的值计算机去控制调节 1#、2#、3#、4# 吊点的调节阀组

(3) 控制调节各吊点调节阀组的计算机流程图如下:

起动平衡→ $\Delta H_1 \geq 8$

→设置 1# 调节阀

→ $\Delta H_1 \leq 1$

→复位 1# 调节阀

→ $\Delta H_2 \geq 8$

→设置 2# 调节阀

→ $\Delta H_2 \leq 1$

→复位 2# 调节阀

→ $\Delta H_3 \geq 8$

→设置 3# 调节阀

→ $\Delta H_3 \leq 1$

→复位 3# 调节阀

→ $\Delta H_4 \geq 8$

→设置 4# 调节阀

→ $\Delta H_4 \leq 1$

→复位 4# 调节阀→→关闭平衡

#### 四、施工过程主要技术措施

1、梁提升过程中严格控制钢绞线偏移沿垂线的角度不大于 2 度，超出时应移动横梁来调整。

2、由于 0# 点是弯曲段连接点，设置 15#、16# 扁顶来调整可能出现的应力。

3、旋转支点为梁中轴线与 0# 支点延长线的交点，当零点下移时可用 15#、16# 扁顶来调整，或者修正激光仪零点。

4、1#、2#、3#、4# 各点的油压控制在小于其相应的实际压力值加 2MP。

#### 五、转体提升施工

##### 1、设备安装、调试

(1) 把千斤顶按编号吊装到位，并按规定的工法安装导向锚，安全锚，行程检测板。

(2) 把控制系统、泵站按系统设计安装在连续梁上，泵站阀体箱设立在钢结构平台上。

(3) 按设计编号在千斤顶、调节阀组、液压泵站之间连接油管。

(4) 按设计编号连接电气线路和控制电缆，均安放在连续梁上。

(5) 试机：保证由控制系统控制的组合连动系统在手动、自动过程中其操作与动作正确。

(6) 调节调速阀，使 1#、2#、3#、4# 各点流量为 5L/min；10L/min；15L/min；10L/min。

(7) 调节主顶行程检测装置 1~4# 位的检测元件。

##### 2、穿束、预紧、安装激光测距仪

(1) 调整千斤顶并使主缸伸出在 1# 位置与 4# 位之间，打开千斤顶上下夹持器。

(2) 使用  $\phi 15.24$ 、破断强度 1860MPa 的钢绞线。（左、右捻向各半，相间排列）。按长度 20 米下料。

(3) 使用穿束器，从上至下穿过导向锚、上夹持器、下夹持器、安全锚、构件夹持器。使构件夹持器和钢绞线牢靠连接起来，并立即在扁担梁

上定位。

(4) 按吊点控制提升：分别把 1#、2#、3# 吊点的扁担梁自动提升约 5 米、3.5 米、2 米。

(5) 分别调整 1#~7# 扁担梁使其托住梁底并用缓冲件作垫置；预紧每根钢绞线。

(6) 安装激光测距仪，并把水平安装距离数据送入计算机，调节激光束，使其检测光束垂直于地面，并作好激光仪防护的措施。

(7) 打开激光测距仪，记录下此时的数据，多次检测。把这个数据作为测距零点，记录入控制计算机中。

##### 3、准备提升

(1) 手动控制所有千斤顶主顶回到起始位，进入手动提升准备。

(2) 分别手动控制 4#、3#、2#、1# 吊点，并按 8、6、4、2 逐步提升把整个连续梁托离桥墩 4cm、3cm、3cm、1cm。

(3) 悬停 10 小时。

(4) 按沉降值计算桥态，手动控制按 8、6、4、2 调整 4#、3#、2#、1# 吊点，调整好新的桥形。

(5) 打开激光测距仪，记录下此时的数据，多次检测核对。并把这个数据作为测距零点，记录入控制计算机中。

(6) 检查所有设备，千斤顶，夹持器，各行程开关，控制开关，压力表，钢绞线、激光测距仪（防雨、防光干扰措施）。

(7) 手动控制调整所有千斤顶进入准提升位置，准备进入自动提升。

##### 4、正式转体提升

(1) 起动自动转体提升。自动转体提升使 4# 吊点的提升值约 13cm，测量 1#、2#、3#、4# 吊点的提升值是否按 1：2：3：4 比例在规定范围内；测量连续梁的各个状态参数是否在规定范围内。

(2) 起动自动转体提升。在所有的自动转体提升中如果累计误差超过 8mm，系统将自动调整，如

果累计误差超过 10mm, 系统将自动进入紧急停机, 等待调整, 调整完毕, 进入准提升状态。再次启动自动转体提升, 自动转体提升过程中最大误差 < 8mm。自动转体提升过程中严格控制钢绞线偏移铅垂线的角度不大于 2 度, 超出时应移动横梁来调整。

(3) 当连续梁自动转体到位, 停机; 测量 1#、2#、3#、4# 吊点的提升值是否按 1:2:3:4 比例在规定范围内; 测量连续梁的各个状态参数是否在规定范围内。

(4) 把转体提升模式更换为整体平衡提升模式; 调节调速阀, 使 1#、2#、3#、4# 各点流量为 16L/min; 16L/min; 16L/min; 8L/min。

### 六、整体平衡提升

按要求连续梁整体平衡提升 12cm; 由于 0# 点的最大升程为 4cm, 即 1#, 2#, 3#, 4#, 也必须与 0# 点相应提升; 0#, 1#, 2#, 3#, 4# 手动操作整体平衡提升 4cm; 重新垫置 0# 点, 再手动操作

0#, 1#, 2#, 3#, 4# 整体平衡提升 4cm; 重复直到连续梁整体平衡提升 12cm。提升到位后, 将下夹持器压紧, 将安全锚锁死; 悬挂静置, 等待墩柱制作完成; 下降。

### 七、整体平衡下降就位

要求连续梁整体平衡下降落在桥墩上; 由于 0# 点的最大落程为 3cm, 即 1#, 2#, 3#, 4#, 也必须与 0# 点相应降落; 0#, 1#, 2#, 3#, 4# 手动操作整体平衡降落 3cm; 重新垫置 0# 点, 再手动操作 0#, 1#, 2#, 3#, 4# 整体平衡降落 3cm; 重复直到连续梁整体平衡降落在桥墩上。继续降落使所有的钢绞线全部松弛, 所有的扁担梁松脱离桥墩; 下放扁担梁撤除设备, 完成施工。

### 八、结束语

跨度为 100 米的连续板梁的高平衡同步转体提升施工在国内尚属首例, LSD 液压提升设备在同步转体提升的成功应用显示了其先进的技术以及广阔的使用领域。

### ●信息窗●

## 常州常澄三标矮塔斜拉桥 第三对拉索安装完毕

2003 年 7 月 9 日, 全国“非典”疫情刚刚过去, 柳州欧维姆工程公司常州常澄三标矮塔斜拉桥项目部就传来喜讯: 锚具、拉索全部由欧维姆公司供货并由柳州欧维姆工程负责斜拉索安装的矮塔斜拉桥——常州东互通式立交主线桥及常州东环线桥的第三对拉索安装任务顺利完成。

5 月 8 日, 正是全国人民对“非典”病情最恐惧的时期, 正是在这样的时间段, 项目部正式成立。每个到项目部的成员都要按甲方的要求进行体检、隔离等程序后方能进入工地, 项目经理部充分利用这段隔离时间给工人传授施工要点,

为后续斜拉索施工作好了充分准备工作。

这两座桥的结构形式大致一样, 采用塔梁固结、梁墩分设的结构形式, 均为 70.15m+120m+70.15m 三跨双塔单索面预应力混凝土矮塔斜拉索桥。斜拉索为 OVM250 型平行钢绞线拉索体系, 双排布置在中央分隔带上, 每塔上设有 8 对 32 根斜拉索, 全桥共 64 根, 桥长 260.3m。主塔结构高 31.0m 为钢筋混凝土独塔实心矩形受力截面, 顺桥向长 3.0m, 横桥向宽 2.0m。目前, 工程进展顺利, 甲方对我方工作非常满意, 称赞我公司是施工、管理过得硬单位。

(玉艳玲 黎兆亮)