

## 一、前言

随着桥梁建设的飞速发展，预应力混凝土连续箱梁由于具有整体刚度大、施工质量容易保证、养护成本低等优点，已广泛应用于城市高架桥和大型桥梁的引桥建设中。而混凝土连续箱梁的施工方法，在国内却基本局限于采用满堂支架现浇。相比之下，移动模架法施工具有以下明显的优点：第一是工序简单，施工周期短，同时移动模架逐孔施工，具有明显的经济效益；第二是不需进行基础的处理，适用范围广；第三是移动模架对于高墩桥梁，尤其是城市高架桥，具有显著的安全性，同时可不影响桥下的通车要求。

针对润扬长江大桥北引桥的现场环境和混凝土连续箱梁的结构特点，路桥集团公路二局研制开发了 YZ40/1500 下行式移动模架造桥机，该造桥机适用于混凝土箱梁的逐孔现浇施工及先简支后连续的预制拼装施工。

## 二、工法特点

- 1、本工法使用的移动模架造桥机结构简单，部件尽量选用常用周转材料，加工量相对较小，节省成本。
- 2、一孔梁段施工完成后移动模架整体行走至下一孔，无需多次拼装模板及预压，施工周期短且所需人员少。
- 3、调整主梁之间的距离和模板顶托高度即可适应不同几何尺寸梁段的浇注，设备通用性好。
- 4、结构受力明确，理论计算结果与实际发生情况极为吻合，结构安全可靠，而且有利于箱梁的施工控制，保证良好的线形。
- 5、本工法跨中无任何支撑，因此跨间地基不需处理，同时在施工时不影响通车通航，具有显著的社会经济效益。

## 三、适用范围

本工法适用于 45 米左右跨径预应力混凝土连续箱梁逐孔现浇，也可用于混凝土箱梁节段拼装法施工。特别是墩身超过一定高度搭设支架有困难时，施工现场地基软弱或桥下有通车通航要求时，以本移动模架造桥机施工具有很大的优越性。本工法主要以陆上施工为主，水中施工时应根据现场情况作适当变动。

## 四、施工工艺

### (一)、构造

移动模架造桥机由主梁、缓冲架、横梁、横移工作台、支撑托架和内外模板等主要构件组成。

见图 1

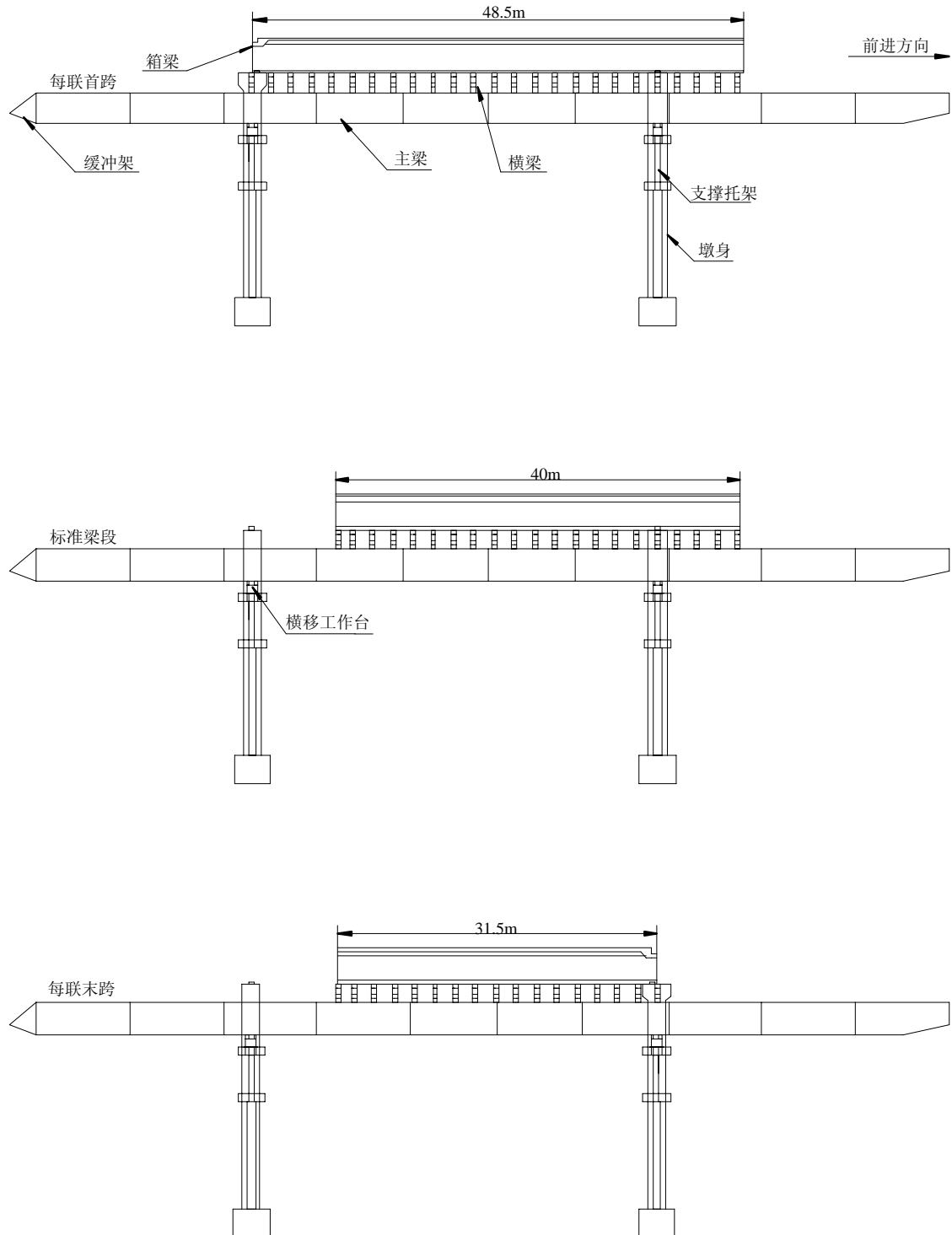


图 1 移动模架立面图

## 1.主梁

一套移动模架造桥机包括两根箱形主梁，位于墩身外侧，混凝土箱梁翼缘板下方，混凝土箱梁、模板和横梁的重量均由它承受。单根主梁全长 90m，由 10 节钢箱梁依靠高强螺栓及钢销相连接。主梁外形尺寸均为 2.7m（高）×1.35m（宽），为了追求造桥机的经济性，主梁钢箱采用的钢板厚度是根据所处位置承受的最大弯矩来确定的。

## 2.缓冲架

缓冲架位于主梁尾端，由型钢加工而成。在主梁纵移过程中，尾端脱离后支撑托架时，缓冲架能消除因主梁弯矩突然释放导致的结构剧烈振荡。

## 3.横梁

横梁采用常用周转材料六四军用梁，是底模的支撑平台，浇注混凝土时也做为两根主梁的横向联系。横梁每 2m 布置一道。

## 4.横移工作台

横移工作台即主梁在支撑托架上的滑动支座。工作台下设横向不锈钢走船，以千斤顶牵引横移工作台即可实现移动模架的横向开合，保证移动模架前移时避开墩身。

## 5.支撑托架

支撑托架是整套移动模架最后一道传力结构，负责将钢筋、混凝土和移动模架自重等荷载传递到承台上。支撑托架由三角架和竖向支腿组成，依靠预应力粗钢筋对拉与墩身固定。每套移动模架包括三对支撑托架，随梁段的浇注周转使用。

## 6.模板

模板系统由外模、内模和外模架组成，均为钢结构。外模板由底模、腹板模和翼板模三大块组成，其中底模沿桥轴线分割为独立的两块，移动模架行走时底模板由中线分离，随两根主梁分别横移。外模架支撑于横梁上，将梁体混凝土侧压力及翼板荷载传递至横梁，调整侧模架的高度也可使移动模架适应不同断面型式的箱梁施工。内模采用小块钢模，便于施工过程中的调整，内模支撑采用碗扣式脚手架钢管。



图 2 移动模架结构图

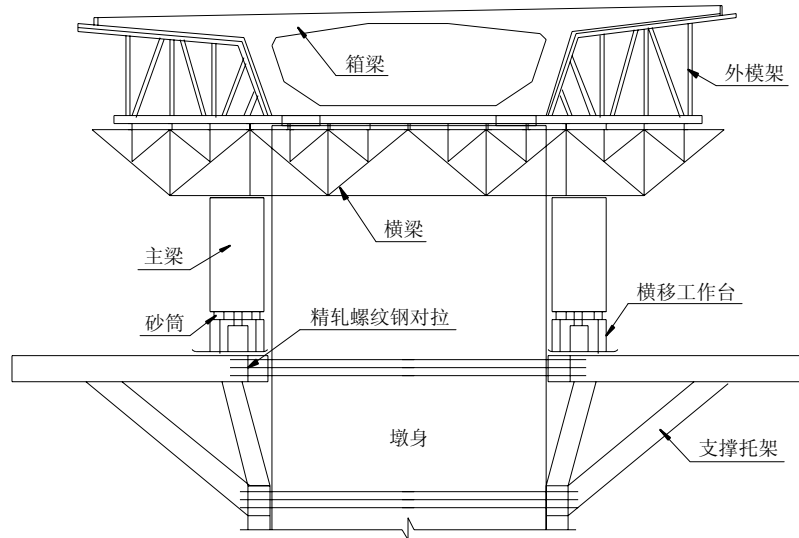
(二)、技术参数

1. 全套移动模架自重 620t
2. 适用箱梁跨径 45m 以下，箱梁每延米自重 30t
3. 墩身高度 10m 以上（低于 10m 时可用钢管桩代替支撑托架），墩身高度过高时，施工时注意风速的影响
4. 最小平曲线半径 400m
5. 最大挠度  $L/400$
6. 行走及横移时最大风速 6 级

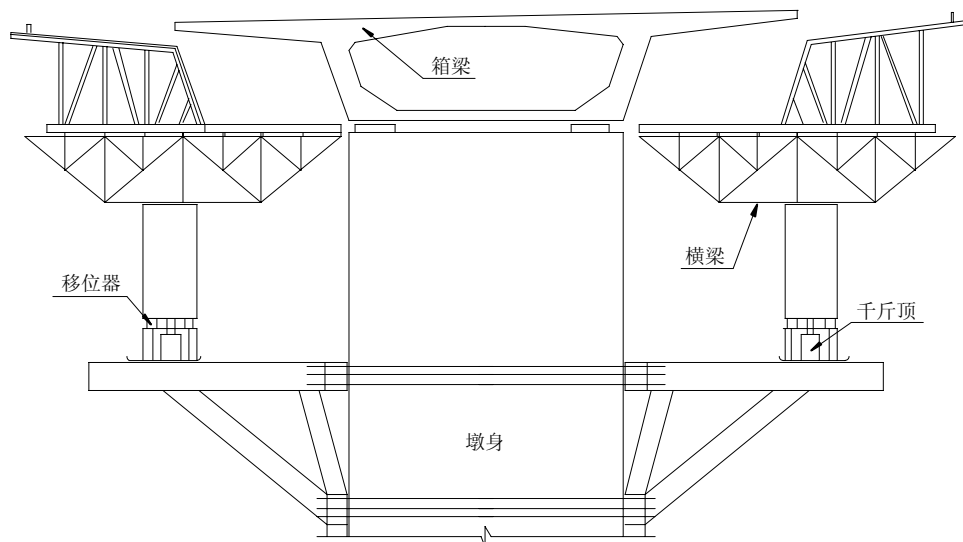
## 7. 施工速度 10~15d/跨

### (三)、工作原理

箱梁混凝土荷载通过横梁传递到主梁，主梁安放于墩旁支撑托架上，并通过支撑托架将荷载传递到承台。一跨混凝土浇注完成张拉纵向索后将前跨支撑托架转移至下一跨安装，移动模架由桥轴线分离横移，避开墩身前行至下一跨施工位置合拢，同时完成上一跨箱梁预应力索压浆，完成一个循环周期。移动模架的高度调整、横移及纵移均依靠液压系统控制，



浇注混凝土状态



纵向行走状态

图3 移动模架断面图

操作迅速方便。移动模架在浇注混凝土时和行走时断面见上图3。

#### （四）、加载试验

##### 1.加载目的

- （1）检验移动模架主梁的实际抗弯能力。
- （2）消除移动模架的非弹性变形。
- （3）实测支点处的沉降值，以推算出砂筒的沉降值。
- （4）实测跨中的挠度值，与理论计算跨中挠度值对比，验证理论计算值准确性，为箱梁浇注预拱度设置提供经验数据。

##### 2.加载方法

YZ40/1500 型移动模架结构简单，受力明确，无需采用等荷加载试压，根据加载试验的目的，可直接采用分级跨中等弯矩加载试压法，即在主梁跨中分级加载，分级荷载分别为：90t、150t、250t、300t，分级最大荷载在主梁跨中产生的弯矩同首跨箱梁荷载在主梁跨中产生的弯矩相同，以验证移动模架主梁的实际抗弯能力。每级荷载加载完毕后对主梁和精轧螺纹钢吊杆进行详细检查，并在 40m 跨径内 1/4、1/2 和 3/4 点跟踪测量标高变化，分析挠度有无异常。加载试验的压重块采用混凝土试块、万能杆件、型钢、钢筋等等（具体采用何种压重块可根据工地具体情况确定）。分级加载的重量根据 50t 吊车的指示盘指示进行累加，或由压重块体积、密度相互关系进行换算累加。加载分配梁采用 36 号槽钢组焊而成，加载吊杆采用  $\phi 32$  精轧螺纹钢，承重构件采用 4 片贝雷架组合梁，详细加载方法见下图 4，观测结果见表 1。

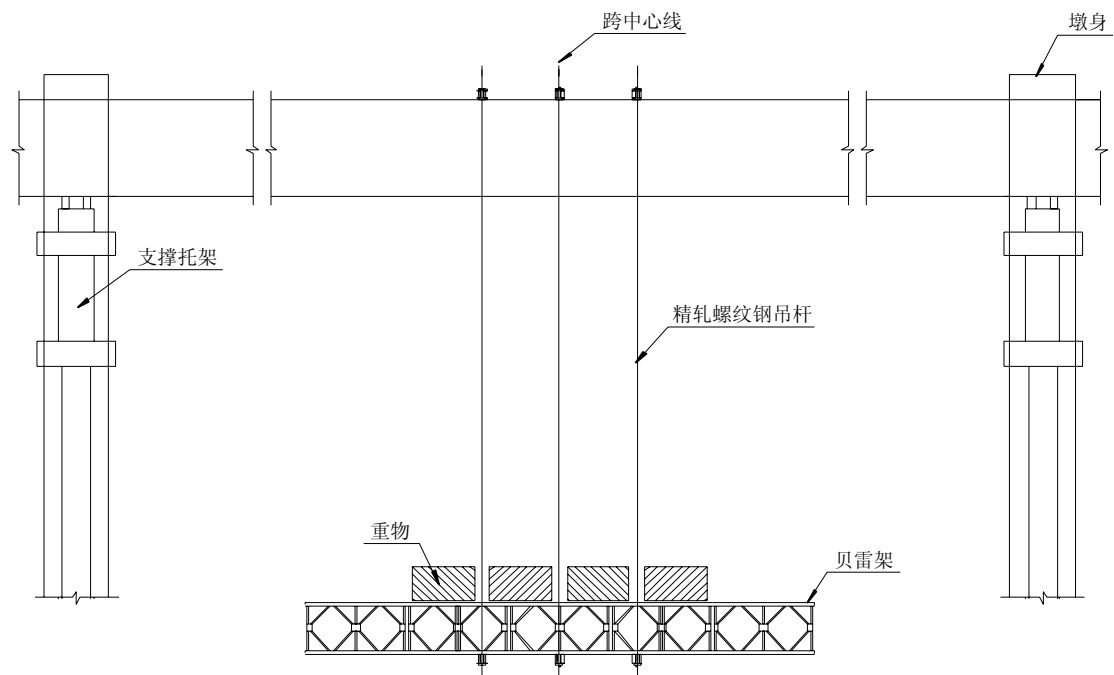


图 4 加载试验图

表 1 加载试验荷载挠度对应表（单位：mm）

荷载		1/4 跨	跨中	3/4 跨	结论
90t	实测挠度	-57.0	-102.9	-61.2	第一级加载时非弹性已基本消除，表中扣除非弹性变形后挠度=实测挠度-卸载后实测非弹性变形
	理论挠度	-12.7	-18.4	-12.7	
	扣除非弹性变形后挠度	-6.0	-10.4	-8.2	
150t	实测挠度	-84.3	-121.2	-72.4	
	理论挠度	-21.0	-30.0	-21.0	
	扣除非弹性变形后挠度	-23.3	-28.7	-19.4	
250t	实测挠度	-87.7	-143.0	-88.4	
	理论挠度	-35.2	-51.2	-35.2	
	扣除非弹性变形后挠度	-36.7	-50.5	-35.4	
300t	实测挠度	-94.6	-153.0	-96.1	
	理论挠度	-42.0	-61.2	-42.0	
	扣除非弹性变形后挠度	-43.6	-60.5	-43.1	
0（卸载）	实测挠度	-47.4	-88.3	-49.4	
	理论挠度	+3.6	+4.2	+3.6	
	实测非弹性变形	-51.0	-92.5	-53.0	

### 3.预拱值设置

根据加载试验，扣除支点处砂筒的沉降值和主梁的非弹性变形值，YZ40/1500 型模架

主梁在跨中产生的挠度同理论计算值基本吻合，预拱值的设置应综合考虑砂筒的沉降和主梁的下挠值，即：支点处和跨中均需预拱值设置，用以克服砂筒的沉降值和跨中的挠度值。跨中的预拱值按理论计算扣除预应力反拱值（设计单位提供），按二次抛物线进行分布设置，通过在横梁下垫置钢板块抬高横梁来实现；支点处直接提高砂筒高度来实现预拱值设置。

（五）工艺流程

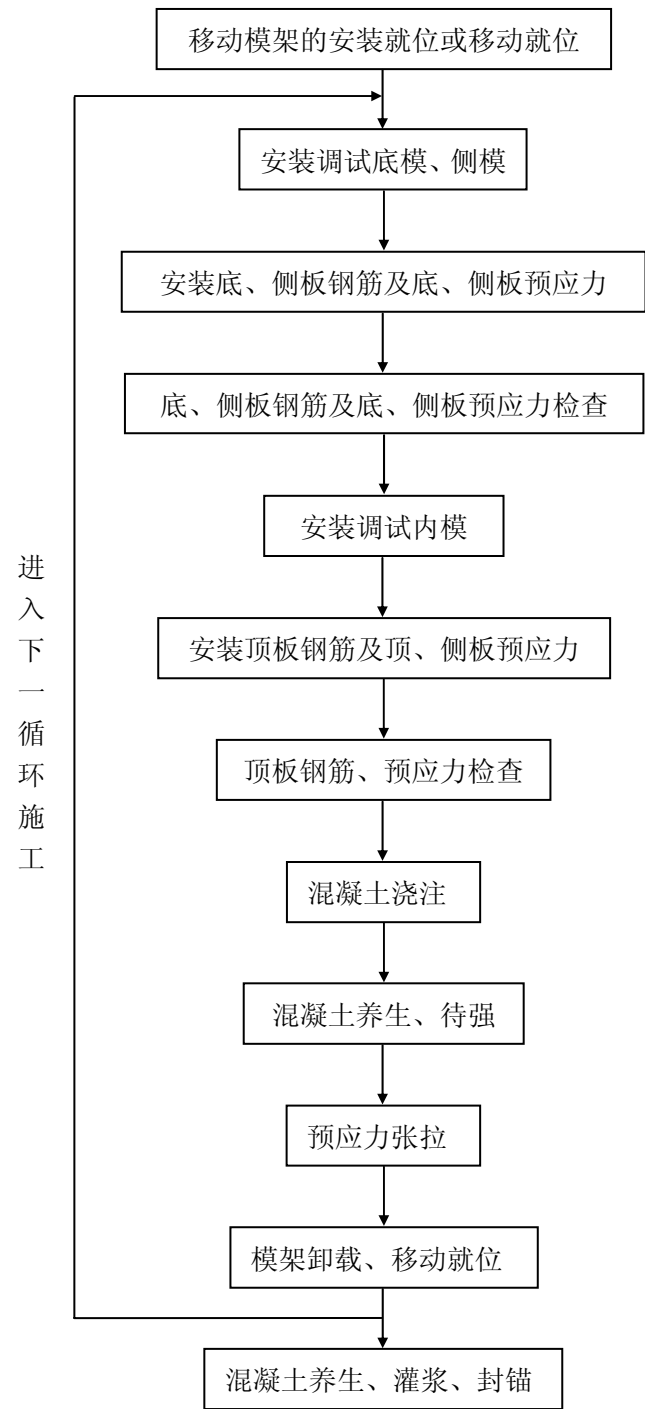


图 5 施工工艺流程图



## （六）、施工过程及要点

### 1.施工准备

（1）预备枕木或者预制混凝土垫块（主梁拼装时垫高主梁，便于主梁底板螺栓连接操作）。

（2）箱梁内模、外模及模板支架的设计及加工。

（3）培训移动模架操作人员。

（4）50t 履带吊进场。

（5）移动模架器材进场。

（6）在吊装主梁的墩顶预埋精轧螺纹钢锚杆。

（7）安装墩顶贝雷架，并锚固于墩顶上。

（8）主梁组拼。

（9）主梁吊装。

（10）主梁加载试验。

（11）安装横梁、底模分配梁、侧模架、底模、侧模。

（12）箱梁施工材料准备。

### 2.移动模架的安装

#### （1）主梁拼装场地的选择

YZ40/1500 型移动模架跨中单节主梁约重 19t，端头节段主梁重约 12t，组拼时采用 50t 履带吊起吊主梁配合组拼，组拼的场地根据施工场地实际情况选择较开阔的场地，一般选择在起始浇注梁段旁进行组拼，若起始浇注梁段下场地条件不利于组拼，可在其它场地较好的梁段下进行拼装，主梁吊装后行走至起始浇注梁段。

#### （2）主梁组拼步骤

①. 场地平整。

②. 根据吊装布置图安放混凝土垫块。

③. 安放第一节主梁，主梁位置应不妨碍吊车行走及作业。

④. 安放第二节主梁并和第一节主梁用销子及螺栓连接成一体。

⑤. 安放第三节主梁并和第二节主梁连接成一体，以此类推直至将 10 节主梁全部连接成整体。

⑥. 同样方法，组拼另一侧主梁。

⑦. 对所有主梁连接位置进行检查，查看螺栓是否松动或漏上，主梁销子保险插销是否

卡紧等等。

### （3）主梁组拼的工艺要求

YZ40/1500 型移动模架主梁的连接采用  $\Phi 63$  销子及 M27B 级高强螺栓，考虑到工地现有的施工条件及模架需经常拆卸的特点，主梁连接设计未考虑摩擦力，仅考虑了高强螺栓本身的抗剪力及主梁螺栓孔孔壁承压，因此对主梁的连接工艺要求并不高。但为确保主梁的连接有一定的安全储备，主梁连接工艺仍有以下几点要求：

- ①. 禁止采用废旧高强螺栓进行连接。
- ②. 高强螺栓应由制造厂按批套供货，必须有出厂质保书，在使用时必须按同批配套使用。
- ③. 工地安装时，应按当天实际需要的数量领取，当天领用的螺栓必须妥善保管，不得乱放。
- ④. 主梁栓接时应将摩擦面采用钢丝刷除锈处理，并在晴朗天气下进行栓接，以增大摩擦系数。
- ⑤. 螺栓的拧紧分为初拧和终拧，初拧采用普通扳手，终拧采用扭矩测力器拧紧，避免人为因素影响。
- ⑥. 终拧完成后，以油漆标记，防止漏拧。
- ⑦. 高强螺栓连接完成后，用小锤（0.3kg）敲击法对高强螺栓进行普查，以防漏拧，查验合格后，连接板缝应及时用腻子封闭，连接处用防锈油漆进行涂刷。

### （4）主梁的吊装

YZ40/1500 型主梁由 10 节梁段通过高强螺栓连接而成，其中每根主梁重 160t，吊装采用墩顶预埋精轧螺纹钢锚固贝雷梁作为扁担梁，通过贝雷梁起吊主梁并临时锚固于贝雷梁上，然后利用 50t 履带吊分别安装支撑托架、工作台等支撑体系，支撑体系安装完成后，下放主梁落位于横移工作台，完成主梁吊装，见图 6。

主梁详细安装步骤如下：

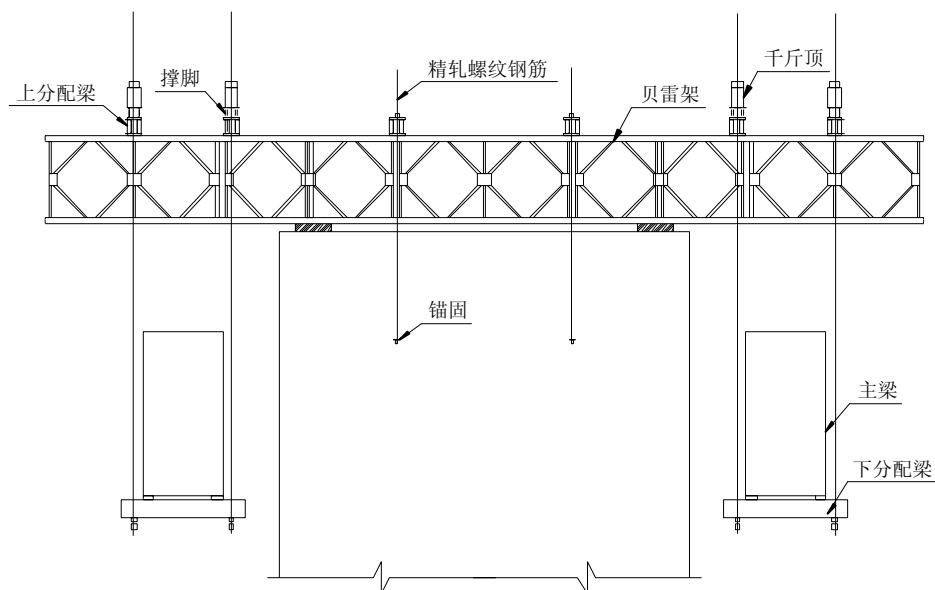


图 6 主梁吊装图

①. 在墩顶预埋 4 根  $\Phi 32$  精轧螺纹钢，预埋长度不小于 1 米，预埋位置根据墩顶平面位置和贝雷梁平面位置相互关系确定，原则是精轧螺纹钢锚点位于贝雷梁的节点上。

②. 拼装贝雷梁。贝雷梁由 4 片贝雷架组合而成，每节断面均采用自制花架横向牢固连接，以确保贝雷梁整体受力。

③. 安装贝雷梁。贝雷梁采用 50t 吊车直接起吊安装，安装后利用预埋的精轧螺纹钢将贝雷梁锚固在墩顶上，每根精轧螺纹钢施加预拉力 15 吨左右。

④. 按主梁起吊位置放线，组拼主梁。

⑤. 安装精轧螺纹钢、分配梁、撑脚、千斤顶等提升系统，一切准备就绪后，采用 8 台 60t 千斤顶同步起吊主梁，提升主梁离开地面见缝，静置主梁 12 个小时左右，观察贝雷梁、精轧螺纹钢、分配梁、撑脚、千斤顶等提升系统有无异常情况，如无异常，则继续提升主梁，当主梁提升至不影响履带吊安装支撑托架的高度时，停止起吊，并将主梁临时锚固于贝雷梁上。

⑥. 利用 50t 履带吊安装支撑托架、工作台等支撑系统。

⑦. 千斤顶往复回油，将主梁下落于工作台上，完成主梁安装。

#### (5) 主梁吊装注意事项

①. 密切关注天气情况，避免大风、暴雨天气吊装。

②. 仔细检查分配梁、贝雷梁焊接、锈蚀情况，如发现脱焊、锈蚀严重等应进行加强处理。分配梁与主梁两边应垫钢板块，防止损伤主梁纵移轨道，同时使分配梁基本处于纯抗剪

状态，以减小分配梁跨中弯矩。

③. 吊装前应仔细检查千斤顶、油表的完好性，在吊装过程中做到心中有数。

④. 分配梁下精轧螺纹钢应旋上双螺帽，以防止螺帽松脱。

⑤. 吊装主梁过程中无关人员一律不得进入施工现场，同时必须有专人指挥，密切注意油表读数，确保每根精轧螺纹钢均匀受力，如发现油表读数异常，应立即停止操作，查明原因，排除异常后，方可开始吊装。

⑥. 吊装主梁过程中必须由熟练的张拉工、起重工操作，工程技术人员现场旁站，地面上必须有专人密切注意精轧螺纹钢和主梁侧面的相互距离，如精轧螺纹钢和主梁侧面相靠应立即通知起重人员进行调整。

#### （6）横梁的安装

YZ40/1500 型移动模架横梁由六四军用钢梁组拼而成，单根横梁重约 2t，其安装步骤如下：

①. 检查军梁有无损伤情况，在支点处帖焊 [16 进行加强处理。

②. 将完好的军梁转运至安装现场，并将军梁组拼成横梁。

③. 在主梁上对横梁位置进行放样。

④. 按照放样位置利用 50t 履带吊直接吊装就位横梁。

⑤. 根据预拱设置值将横梁垫高。

⑥. 将横梁固结在主梁上，完成横梁安装。

#### （7）支架外模板安装

横梁安装完成后，利用 50t 吊车直接在横梁上分别安装底模分配梁、底模、侧模架、侧模、翼板模。至此，整个 YZ40/1500 型移动模架系统安装完成。

### 3. 预应力钢筋混凝土施工

多跨连续梁桥往往根据纵向预应力索的布置分为几联，一联内梁段接缝均设置在连续梁弯矩为零处，因此施工时首跨长度最大，造桥机主梁的设计也以首跨荷载为最不利荷载控制，但无论首跨、末跨或标准梁段其预应力混凝土施工均基本相同，一个施工周期包括以下 9 道工序：

#### （1）准备工作

①. 模板标高的调整。包括横坡、纵坡，同时要充分考虑预拱值的设置。

②. 钢筋的成型。为保证施工的顺利进行，每一跨箱梁所需钢筋应提前一个星期左右加工完成，并运输至作业面。为节约时间，张拉齿板钢筋可以在钢筋成型场地加工完成后直接

吊装。

## （2）钢筋绑扎

钢筋的绑扎是传统工艺，这里不再专门介绍，但要注意以下几个问题：

①. 施工缝处的钢筋要为下一梁段施工留有足够的搭接长度，使搭接头在同一断面上不超过 50%。

②. 钢筋与预应力束有干扰的，允许对有干扰的钢筋进行位置上的调整，但不允许直接割断或割除该处钢筋。

③. 预应力的定位钢筋可以与腹板或底板架立钢筋合并使用，以减少钢筋的密集程度，以利于混凝土的浇注。

## （3）预应力索安装

### ①. 预应力管道定位

预应力管道定位必须准确、牢固，严格按照图纸所示的形式设置定位筋，除各转折点必须固定外，在转点间距过大的地方按直线段不大于 1m、曲线段不大于 0.5m 的要求进行加密布置，保证预应力管道位置的准确。纵向预应力管道位置的坐标偏差不大于 1cm，横向预应力管道坐标偏差不大于 0.5cm。

预应力管道铺设完成后，仔细检查其表面是否有孔洞或裂缝，如有要立即更换或用胶带纸封补。

### ②. 预应力钢绞线的布设（成束）

预应力钢绞线应严格按照图纸所提供的长度进行下料，同时充分考虑千斤顶张拉的工作长度，以 500t 千斤顶为例，工作长度应不小于 70cm。

由于纵向及横向预应力均为一端张拉，因而在预应力钢绞线穿入预应力孔道时，应先用钢绞线挤压机对其一端用钢绞线接头进行挤压。将挤压好的钢绞线逐根穿入安装好锚头及锚垫板的预应力管道中，组成预应力束。

预应力穿束完成后，要将预应力管道口进行封堵，并将裸露在外的钢绞线进行包裹，防止水泥浆漏入波纹管或污染张拉端，影响预应力束的张拉。

## （4）内模安装

在底板、腹板钢筋和预应力管道施工完成后，即可进行内模的安装施工。内模以强度控制设计，分块重量宜在 50kg 以下，有利于人工安装。内模支架采用碗扣式钢管脚手架，安装方便快捷。

## （5）混凝土浇注

因单跨箱梁较长，面积较大，故要有科学的布料方法才能保证混凝土强度及结合面的质量。需考虑混凝土初凝、终凝时间，混凝土拌和楼拌和能力，混凝土振捣时间以及人员的安排。

#### ①. 机具准备

由于箱梁混凝土方量较大，浇注时间较长，在布设混凝土泵管时应充分考虑各种影响因素。针对现场实际情况，混凝土浇注配备两座拌和楼、一台 ZL50 装载机、三台卧泵（其中一台备用）、四辆搅拌运输车，可基本满足施工的需要。由于箱梁钢筋设计往往较密，混凝土振捣机具除插入式振捣器外，另需准备部分插钎用于箱梁下倒角和张拉齿块处混凝土振捣。

#### ②. 底板浇注

在内模顶板每隔 2m 开一个 30×30cm 小孔，从顶部将混凝土送下，直至将整个底板及齿板全部浇注完成，必须注意的是齿板必须振捣密实且保证其断面尺寸的准确。

#### ③. 腹板浇注

腹板混凝土采用分层浇注，分层厚度为 30-50cm，并利用插入式振捣棒充分振捣。

#### ④. 翼板及顶板浇注

腹板浇注完成后，即可浇注顶板及翼板，为防止梁段在墩顶处出现裂纹，顶板应从本浇注段的两端向墩顶浇注，整个断面一次成型。

#### ⑤. 收浆、抹面及标高控制

在箱梁顶板及翼板的浇注过程中，为确保箱梁顶面的平整度符合规范要求，可在箱梁顶面纵向每隔 5m 布置一个高程点，全断面共 5 排，并在标高点上焊接水平钢筋，利用铝合金水平尺和木抹将混凝土面收平。

#### （6）混凝土养生

混凝土的养生直接关系到混凝土质量和强度增长的速度。在顶板混凝土浇注完成后，立即在其表面覆盖塑料薄膜和麻袋布，并由专人洒水养生，保持 24 小时箱梁混凝土湿润，不能形成干湿循环，造成收缩裂纹。在冬季施工时除保证混凝土入模温度外，养生也需采取特殊措施：可用彩条布设置棚罩，使外侧模与翼缘底模下形成相对封闭的空间，在棚罩内以火炉加温，保证浇完混凝土后 72 小时内可以进行张拉作业。

#### （7）预应力张拉

混凝土强度达到设计强度时方可进行预应力束张拉和压浆作业。

##### ①. 对张拉千斤顶和油表进行标定。

- ②. 在专业工程师和有经验的预应力张拉工长的指导下进行张拉作业。
- ③. 填写完整的张拉原始记录，并由质检工程师旁站监督。
- ④. 预应力采用引伸量与张拉力双控，通常以张拉力为主，引伸量控制在 $\pm 6\%$ 之间。
- ⑤. 张拉结束并全部合格后，利用切割机将多余的钢绞线切除。但须保证露出夹片的钢绞线长度不得小于 3cm。

#### （8）预应力孔道压浆

- ①. 仔细检查压浆口内是否有杂物，并将压浆管接好，利用高标号砂浆将封堵锚头。
- ②. 待封锚砂浆强度达到 50% 设计强度后，即可进行压浆作业。先用清水对管道内进行冲洗，再用空压机将管道内的水份清除。根据试验室提供的水泥浆配合比投料，在拌浆机内搅拌成水泥浆，达到设计要求稠度后再通过漏网将水泥浆注入压浆机内，增压泵出，压入管道低侧进浆口，当管道高侧出浆口的水泥浆浓度与进浆口水泥浆浓度一致时，即可关闭高侧出浆口的阀门，进浆口继续持压 2-3min 后关闭进浆口阀门。
- ③. 依次将所有预应力管道压满。试验室在压浆过程中要提取试样，以确定压浆后水泥浆的实际强度。

#### （9）封锚

张拉、压浆工作结束后，齿板及顶板横向束要及时进行封锚，防止锚头砂浆开裂钢绞线外露锈蚀。

- ①. 齿板封锚：利用木模或小块钢模做外模，并在齿板锚固端及张拉端加一层钢筋网，用同标号的混凝土进行浇注，并用振捣棒振捣密实，洒水养生，待强度达到后拆模。
- ②. 顶板横向束封锚：直接利用原有的翼板外模作模板，并在锚头处安装钢筋网及防撞护栏钢筋，用同标号的混凝土进行浇注，并用振捣棒或插钎振捣密实，洒水养生，待强度达到后拆模。

箱梁纵向索张拉结束后，移动模架主梁的卸架和行走可以与压浆、封锚等工作同步进行。有利于缩短施工时间，优化施工周期。

#### 4. 移动模架行走

每跨箱梁混凝土施工完成后，移动模架需要行走至下一梁段进行作业，移动模架行走包括卸载、横移、纵移和闭合四个阶段。

##### （1）卸载

纵向索张拉、压浆结束后，移动模架即可卸载。由于主梁在支撑托架上的支撑点共有四个，因此在操作中要四个点同时作业。

①. 在每个支点处设置两台 250t 千斤顶（支点在支撑托架平面上），四个支点共设八台。

②. 用千斤顶将主梁向上顶起，取走钢板及砂筒等支垫物，千斤顶回油使主梁直接落到托架顶面横移工作台上，将主梁与横移工作台临时固结。

③. 将六四军用梁跨中的钢销全部脱开，使梁底的军梁弦杆自由悬垂在同侧。

#### （2）模架横移

为使底模绕过墩身，移动模架必须沿桥轴线分离后向两侧横移一定距离方可通过，每侧横移的宽度略大于墩身宽度的一半即可。施工方法如下：

①. 移动模架主梁与横移工作台临时固结后，在支撑托架平台顶面远离墩身一端焊接横移分配梁。

②. 将  $\Phi 32$  精轧螺纹钢横向穿过横移工作台底面的滑船和托架平台一端的分配梁，在滑船两侧戴好垫板、螺帽固定。横移分配梁外侧安装 60t 穿心式千斤顶，戴好垫板、螺帽固定。

③. 用托架平台上铺设的不锈钢板作为滑船的移动轨道。用 60t 穿心式千斤顶张拉精轧螺纹钢，带动滑船及移动模架缓慢向外侧移出。

④. 移动模架横移到位后，拆除千斤顶，取消主梁与横移工作台的临时固结。

横移时注意事项：

①. 在横移时要时刻关注千斤顶油表的读数的变化，如有异常及时停机检查。

②. 每一侧主梁的两个横移点要同时进行操作（每个行程 15-20cm），保持主梁同步向外侧移动。

③. 横移时要安排专人负责观察主梁的变形情况，发现问题及时解决。

#### （3）模架纵移

横移到位后，移动模架即可纵移到下一箱段浇注位置，纵移时同样需保证同步，且须密切关注油表读数的变化。施工方法如下：

①. 用 250t 千斤顶将一侧的主梁两端顶起，在每个横移工作台上沿纵向安放四个 60t 履带式移位器，然后千斤顶回油，使主梁落在移位器上。

②. 将精轧螺纹钢后端固定在主梁底端的支架上，戴上垫板及螺帽，精轧螺纹钢前端穿过横移工作台前安装的 60t 穿心式千斤顶，戴好垫块和螺帽。

③. 用千斤顶张拉精轧螺纹钢带动主梁向前移动，往复循环将主梁纵移到下一跨。

#### （4）模架闭合

模架闭合是向外横移的逆向作业，方法类似，但在向内横移至接近合拢时，要减缓移动速度，随时调整主梁角度，以保证箱梁的线形。



①. 模架纵移到位后，用 250t 千斤顶将主梁顶起，移去移位器，使主梁落到横移工作台上，并将两者临时固结。

②. 在支撑托架平台顶面靠近墩身一端焊接横移分配梁。

③. 同移动模架向外横移一样，用精轧螺纹钢和 60t 穿心式千斤顶将横移工作台缓慢向内侧牵引至底模合拢。

④. 模架闭合后，将跨中的六四军用梁销子全部穿上打紧，用 250t 千斤顶将主梁顶起，安装砂筒，调整模板标高就位。完成移动模架的一个行走过程。

移动模架一个施工周期见图 6。

### 5.移动模架转移

目前国内 PC 连续箱形梁一般为双幅箱梁，如采用 1 套 YZ40/1500 型移动模架施工，中间就存在一个移动模架从一幅转移到另一幅的问题。移动模架转移的方式多种多样，可采用拆解分节段吊装或整体旋转横移等等，其施工过程主要分为两个阶段，即模架主梁的下放和移位。

#### （1）模架主梁的下放（见图 8）

移动模架主梁落梁方式、落梁注意事项同主梁吊装基本相同，其主要步骤如下：

①. 箱梁浇注时，在箱梁上按设计要求预埋精轧螺纹钢，设置预留孔。

②. 一幅箱梁施工完成后，模架开启，利用 50 吨吊车将外模、横梁分块吊下。

③. 如果一幅箱梁终点处地面状况不佳，则主梁需后退至落梁位置。

④. 在箱梁顶上安装贝雷梁（原提梁贝雷梁），并采用精轧螺纹钢锚固，预拉力 15 吨左右。

⑤. 安装千斤顶、分配梁、精轧螺纹钢、撑脚等提升系统，采用 8 台 60t 千斤顶同时起吊主梁，将主梁提升离开支撑托架见缝。

⑥. 同样静置主梁 12 个小时左右，观察贝雷梁、精轧螺纹钢、分配梁、撑脚、千斤顶等提升系统有无异常情况，如无异常，则继续提升主梁离开托架 1m 左右。

⑦. 分别拆除横移工作台和支撑托架。

⑧. 利用 8 台 60t 千斤顶不断地往复回油落梁，直至将主梁落于地面枕木或混凝土垫块上。

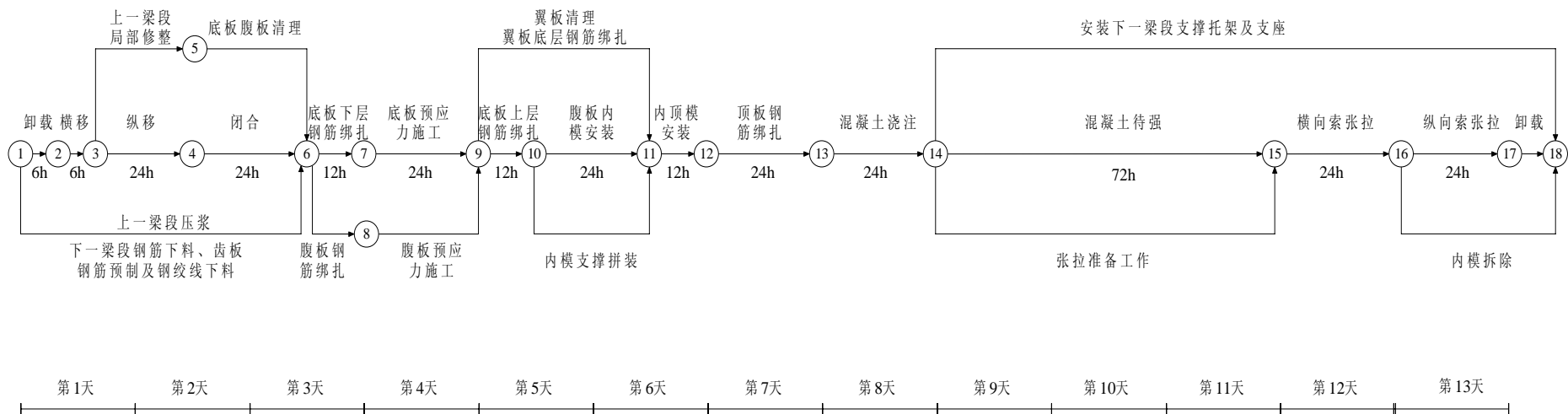


图 7 移动模架造桥机施工周期图

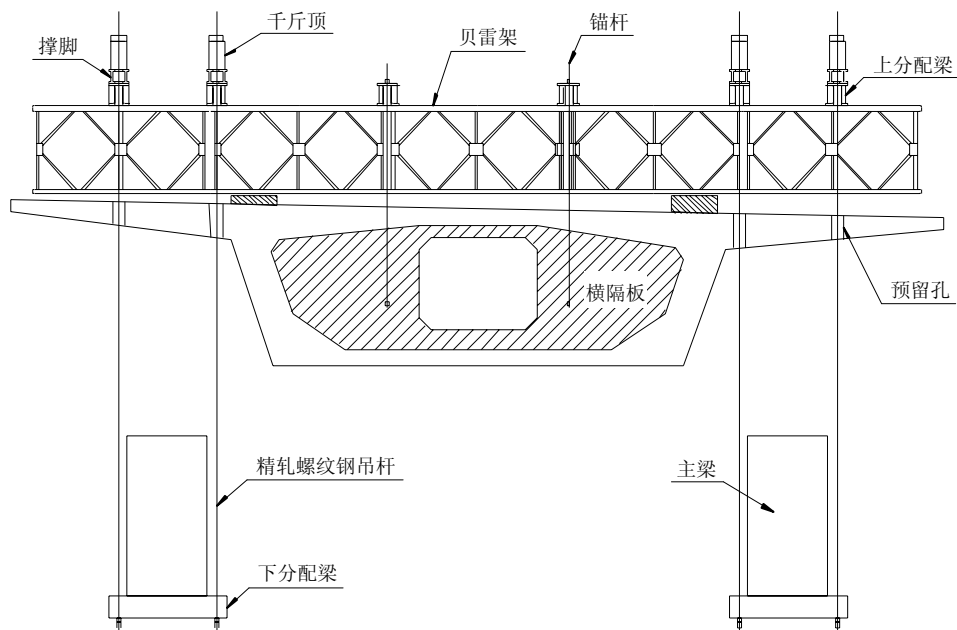


图 8 主梁下落图

## (2) 模架主梁的移位

见图 9，为便于表述，将双幅箱梁称之为右幅、左幅，右幅位于上游，左幅位于下游，需将右幅主梁转移至左幅施工。对于右幅下游侧主梁，因无需跨越墩身比较容易解决，可直接在主梁下利用型钢作为轨道，在轨道上焊接反力架，由千斤顶牵引主梁在轨道上直接横移至左幅上游侧（主梁与轨道之间反放一对 60 吨移位器）。

主梁移位主要的工作量是针对于右幅上游侧主梁横移，因需要跨越墩身，相对来说比较麻烦。移位时采用旋转、纵移加横移的方式，首先在右幅上游侧将主梁旋转一定角度，使之能够斜向穿过右幅墩身，牵引主梁纵移使之穿过右幅墩身，再次旋转使之能够斜向穿过左幅墩身，同样牵引主梁纵移使之穿过左幅墩身，穿越墩身后，再次反方向旋转使之与墩身平行，然后纵横移至吊装位置，准备吊装。主梁的纵移通过卷扬机牵引主梁在移位器上实现纵移；主梁的旋转则是通过万向支座来实现旋转，其方法是：在主梁靠近中部的位位置垫放混凝土块，混凝土块上安放支座，另在主梁两端设置混凝土块作为辅助支撑点，在主梁两端采用 5t 链条葫芦牵引主梁作顺时针方向旋转以实现主梁的旋转。其移位操作步骤如下：

- ①. 主梁下放至地面。
- ②. 按设计位置在右幅下游侧安放横移轨道，右幅上游侧安放混凝土垫块及万向支座。

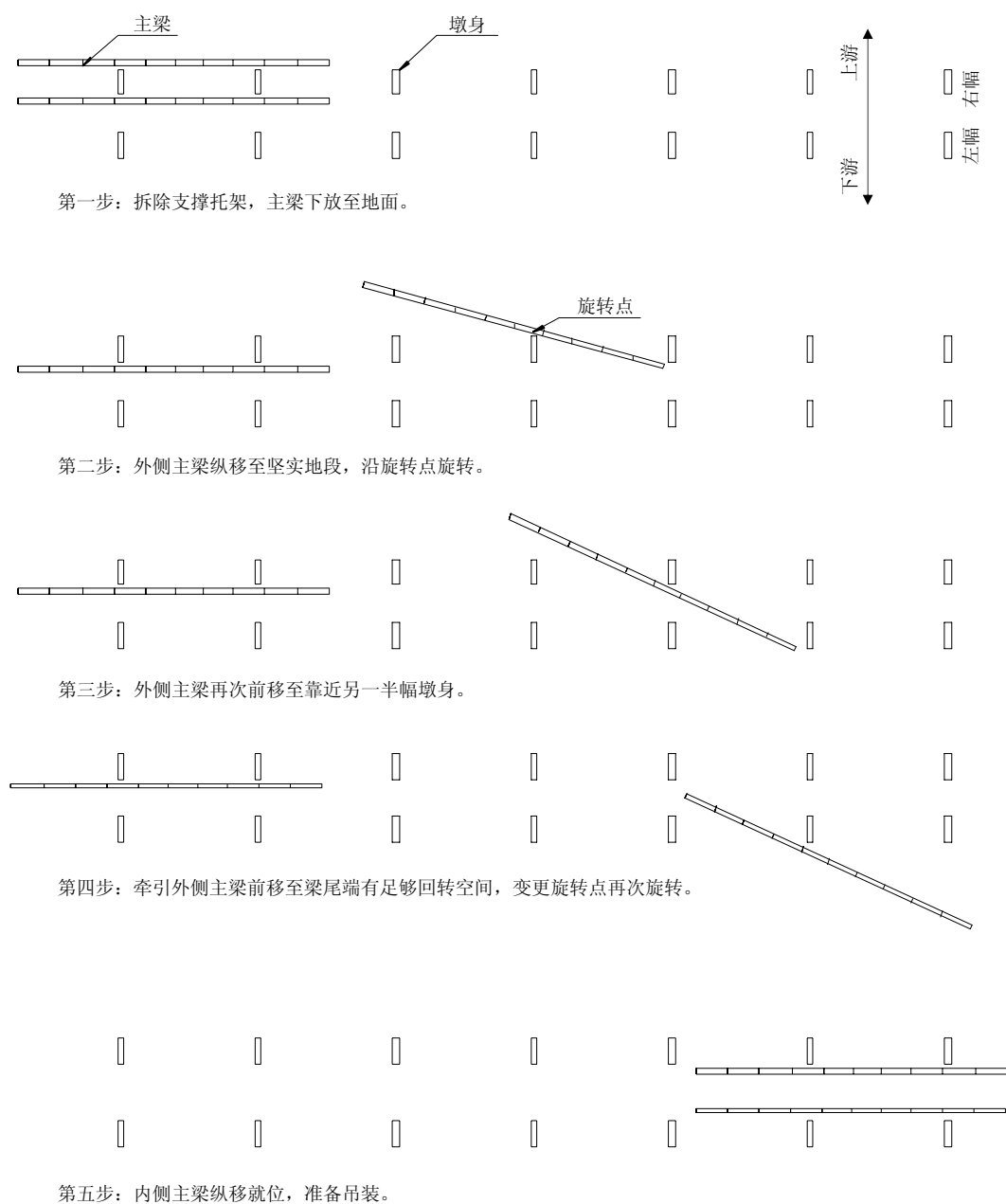


图 9 主梁转移流程图

- ③. 将上游侧主梁移至图示位置。
- ④. 将右幅下游侧主梁横移至左幅上游侧。
- ⑤. 通过主梁两端 5t 链条葫芦反方向牵引，使主梁在万向支座上作顺时针方向旋转，并使之能够通过右幅墩身。
- ⑥. 卷扬机牵引右幅上游侧主梁纵移，使之通过右幅墩身。
- ⑦. 再一次对主梁作顺时针方向旋转，使之能够通过左幅墩身。
- ⑧. 卷扬机牵引右幅上游侧主梁纵移，使之通过左幅墩身。

- ⑨. 反方向旋转主梁使之与墩身平行，纵移、横移至吊装位置。
- ⑩. 纵移左幅上游侧主梁，使之移至吊装位置，完成模架主梁转移。

## 五、质量标准及质量控制

- 1、选定梁体混凝土配合比时，除混凝土强度必须达到设计强度外，其弹性模量及最大水泥用量必须满足现行规范要求。
- 2、钢筋、水泥、地材、钢绞线、锚具等原材料的检验与试验均按现行规范有关规定执行。
- 3、千斤顶的标定应委托有资质的单位进行，标定的频率按现行规范及设计图纸有关规定执行。
- 4、梁体预应力工程如预应力材料的保护、预应力材料的下料、预应力管道定位、预应力筋张拉、预应力孔道压浆等质量检查和质量标准按《公路桥涵施工技术规范》（JTJ041—2000）中预应力混凝土工程有关规定执行。
- 5、梁体钢筋工程如钢筋加工、钢筋连接、钢筋网绑扎等质量检查和质量标准按《公路桥涵施工技术规范》（JTJ041—2000）中钢筋工程有关规定执行。
- 6、梁体线形及断面尺寸标准按《公路桥涵施工技术规范》（JTJ041—2000）15.8.2 条第 2 款表 15.8.2-1 悬臂浇注预应力混凝土梁质量标准执行。其控制方法是：在翼缘端头模板立模时每 2 米设置一个标准点，按此标准点立模，确保梁体线形，同时在混凝土浇注前，梁面纵向设置 3 排标高点，点与点之间采用钢筋连接，混凝土浇注时以此钢筋顶面标高为标准收浆抹平，确保梁体表面平整度及标高符合要求。
- 7、为防止施工缝位置出现错台现象，模板包裹上跨箱梁长度不宜超过 50cm。混凝土浇注前应在施工缝位置设置后锚点，张拉锚固模板，使模板紧贴梁体。

## 六、机具设备

移动模架所需机具设备见下表 2：

表 2 下行式移动模架施工机具设备表

序 号	名 称	单 位	数 量	备 注
1	移动模架	套	1	
2	滑 船	套	6	用于模架横移作业
3	60t 移位器	台	24	用于模架纵移作业

4	250t 千斤顶	台	6	用于模架受力转换
5	60t 千斤顶	台	8	用于模架纵横移作业
6	砂 筒	个	24	用于受力转换、调整标高
7	电 焊 机	台	8	
8	砂轮切割机	台	2	
9	切 断 机	台	1	用于钢筋成型作业
10	弯 曲 机	台	1	用于钢筋成型作业
11	插入式振动器	台	12	
12	5t 卷扬机	台	2	
13	50t 履带吊	台	1	
14	16t 汽车吊	台	1	
15	链条葫芦（2t、5t、	台	15	
16	混凝土拌合站	座	2	
17	混凝土卧泵	台	3	60m <sup>3</sup> /h
18	混凝土运输车	台	4	
19	24t 千斤顶	台	4	用于横向索张拉作业
20	500t 千斤顶	台	6	用于纵向索张拉作业
21	油 泵	台	12	
22	净浆搅拌机	台	2	用于压浆作业
23	压 浆 泵	台	2	用于压浆作业
24	真空吸浆泵	台	1	若采用真空吸浆时用
25	水 泵	台	2	用于养生作业
26	挤压机	台	2	用于钢绞线接头作业
27	螺旋千斤顶（16t、	台	4	用于紧固模板

## 七、劳动组织

移动模架所需劳动力组织见下表 3:

表 3 劳动力组织

序号	作业组	主要作业内容	人 数		
			技术员	技工	普工
1	技术组	施工组织设计	3		
2	试验组	选定混凝土配合比	2	2	1
3	现场作业组	移动模架横、纵移，就位调整	4	20	40
4	钢筋组	钢筋的加工、运输	1	3	5

5	加工组	模板加固、异形模板加工	1	3	2
6	混凝土作业	混凝土拌制、运输	2	7	4
7	张拉组	预应力的张拉与压浆	1	5	6

## 八、安全措施

移动模架施工均是高空作业，危险性很大，在施工中除严格遵守桥梁施工安全技术规程的有关规定外，还应注意以下几点：

1、移动模架模板均为大块钢模，面积大，自重大，利用起吊设备安装时要注意吊机位置，起吊高度，防止出现吊机倾覆事故；同时加强现场指挥，施工人员必须佩戴安全带。

2、牛腿上的操作平台边缘要加焊栏杆，用于主梁行走的小型机具及构件要安放牢固，安装精轧螺纹钢的工作篮要坚固并挂好安全网。

3、移动模架中的施工用动力、照明线路必须由专业人员敷设，并经常清理检查，以消除漏电、短路隐患。

4、移动模架上应在梁端、栏杆断开处及上下人行梯挂好安全网。同时应配备消防器材，以防止电焊作业等原因可能引燃防雨遮晒篷布、安全网等易燃物而出现的火灾。

5、浇注混凝土施工过程中，必须安排专人经常检查移动模架螺栓、砂筒、支撑托架及外模架关键受力杆件的状态。

6、加强起重用千斤顶、链条滑车、钢丝绳等机具设备的维修养护，发现问题，及时处理。

7、施工人员上移动模架前，必须经过培训。工作时间不得推搡打闹，酒后严禁上桥作业。

8、随着箱梁的伸长，特别在夏季，箱体内存应及时安装通风、降温、照明设备，以改善施工人员的工作环境。

9、每浇完一跨箱梁，需对主梁支点处和跨中段连接螺栓进行检查，发现异常及时补强。

## 九、效益分析

一套 YZ40/1500 移动模架用钢量 620t，加上液压系统总计需投入约 360 万元，以润扬长江大桥北引桥为例，若要达到与移动模架施工相似的进度，至少需投入两跨半满堂支架和两套模板，软弱地基的处理及施工完毕后复耕也需耗费大量的人工和材料。而且满堂支架的施工损耗较大，而移动模架几乎没有损耗。从下表 4 效益分析表可见移动模架施工具

有较好的经济效益。

表 4 经济效益分析表

项目		移动模架		满堂支架	
主要设备	支撑系统	两根 90m 主梁、六四军用梁横梁、支撑托架，总重 490t	总投入 360 万元	两跨半支架 88.5m（长）×16m（宽）=1416m <sup>2</sup> ，平均墩高 21m，总重 1050t	总投入 650 万元
	模板	一套模板，48.5m，总重 130t		两套模板，88.5m，总重 250t	
	其它	液压设备及行走用小型设备，约 50 万元		无	
每孔人工		1100 工日		2000 工日	
地基处理		0		6×24 孔=144 万元	
加载试验		2 万元		15 万元	
工期		平均 13d/跨		平均 15d/跨	

## 十、工程实例

武汉军山长江大桥北引桥和润扬长江大桥北引桥均由路桥集团第二公路工程局采用本工法施工。

军山大桥北引桥上部构造为 7×30+7×30 的预应力连续箱梁，单幅桥面宽 16.25m，截面单箱单室，梁高 1.75m，墩身最大高度 25m，箱梁每延米质量 21t。本工法首次在军山大桥采用，就达到了 13 天浇注一孔的施工速度。

润扬大桥北引桥上部构造为双幅 40m 跨径后张预应力混凝土箱梁，墩身高度 16.52~23.96m，梁中心高度 2.65m，梁段顶宽 15.75m，底宽 6.95m，每延米质量 29t。北引桥位于半径 5500m 的平曲线上，最大纵坡 1.35%。

本标段的特点是：

- 1.墩身高度较高，采用吊车安装模板困难。
- 2.桥下多为鱼塘，且两次跨越长江大堤并跨过一道排洪渠，地基处理难度很大。
- 3.桥下必须保证通车。



2001 年 11 月开始，润扬长江大桥北引桥采用 YZ40/1500 移动模架造桥机成功浇注了 24 跨混凝土箱梁，平均施工周期为 13 天，最短仅用 10 天，而且箱梁成品标高准确，线形流畅，得到了广泛的赞誉。施工单位也因采用此工法节省了大量人工费与机械费，取得了良好的经济效益。