

适用于中小跨度长联连续梁桥的移动模架造桥机施工技术

郝俊明

(中铁十六局集团施工技术部 100018)

摘要:介绍移动模架造桥机(下承式)的组成,主要由模架支承系统、主梁桁架系统、模型系统和液压系统组成;以及模架施工、内模施工、模架脱模和模架移至下一孔等施工工艺,针对施工的难点提出了对应措施;移动模架造桥机的前支点一般设于桥墩牛腿或临时支墩上,而后支点根据施工条件不同有不同的形式,对此进行了讨论。

关键词:长联连续梁 移动造桥机 施工技术

1. 前言

中小跨度长联连续梁在高速铁路的设计中被大量采用,国外高速铁路(轮轨式)的实践表明结构性能非常良好。在我国京沪高速铁路桥梁的设计中也被大量采用,这种新型结构在国内被首次采用,由于缺乏经验,所以给设计和施工提出了许多新的课题。针对该种桥的特点其施工方法可采用满挡支架法、顶推法等方法,但经过研究比选,移动模架造桥机是一种适宜的方法,因为它具有不受沿线其他工程进度制约的优点,适用范围广。尤其是在跨越河流、交通干线及大山沟且桥跨 $>32\text{m}$ 时,该方法有其他方法无可比拟的优越性。

移动模架造桥机是利用钢桁梁或钢箱梁作为临时支撑梁,提供一个可在桥位逐跨现浇梁体混凝土后,能顺桥轴线纵向移动的制梁平台设备。移桥机分为上承式和下承式两种,模架主梁在现浇钢筋混凝土梁体下面称为下承式移动模架;模架主梁在现浇钢筋混凝土梁体上面称为上承式移动模架,移动模架类型选用应根据梁体结构设计及桥下净空要求而定,本文以下承式模架施工 32m 的连续梁为对象进行一些讨论。

2. 移动模架造桥机的组成

移动模架造桥机是由模架支承系统、主梁桁架系统、模型系统及液压走行系统组成。见图1。

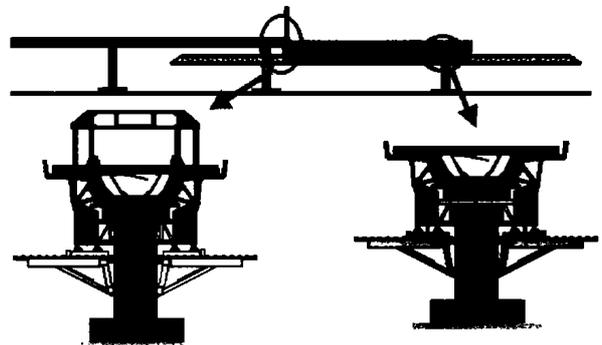


图1 移动模架造桥机示意图

2.1 模架支承系统

模架支承一般设置在墩台位置处,即支承位置与梁跨支点位置相同,支承方案要根据墩台高度选择而定,可用牛腿或辅助墩。当墩台高度 $>20\text{m}$ 时,模架宜选择牛腿支承。每套模架配三套牛腿,牛腿为三角形钢结构,可在桥墩两侧对称布置并通过钢拉杆连接定位。牛腿上支点要设在桥墩预留限位孔内,牛腿下支点则触放于墩身表面。当墩台高度 $\leq 20\text{m}$,支承方式也可采用辅助墩。辅助墩为拆装式钢结构或钢筋混凝土结构,模架荷载通过辅助墩传递给承台。

2.2 主梁桁架系统

每套移动模架的主梁桁架系统由两根主梁组成。主梁可为钢横梁或钢箱梁,其截面特点及桁高应满足梁跨和荷载要求。根据秦沈线桥下净空具体情况,最低高度仅为 3.85m ,为保证模架主梁可在纵向移动,主梁结构选用箱形钢

梁, 钢箱梁每单元6m, 各单元间均由高强螺栓连接; 主梁的前端是平衡钢导梁并装有滑曳鼻梁; 主梁的中段支承着外模框架, 为整套模架设备的工作部分; 主梁的后端是平衡钢梁, 供模架纵向保持平衡。模架主梁的长度由模架纵移过程中平衡条件来决定, 一般为桥跨的两倍。

2.3 模型系统

模型系统由内模、外模组成, 并布设在主梁桁架的中段。其结构特点如下:

2.3.1 在两组主梁上布设底模横梁。横梁由左右两部分组成, 中间通过连接板和钢销连接, 横梁中部并设有简易吊蓝, 为施工操作提供通道。

2.3.2 外模支架布设在底模横梁上, 外锚的底模安装在中段横梁上, 其连接处有竖向螺杆, 可调整外模板的预拱度。水平距离可通过外模支架在横梁上的位置调节。为了减少主梁侧移的距离, 左右两部分横梁的中部设置铰接装置, 通过液压系统使左右两部分横梁可向下翻转到垂直位置, 使主梁在纵向移动时底模可顺利通过桥墩。

2.3.3 在外模骨架上铺设现浇钢筋混凝土梁体的底模、侧模。

2.3.4 内模是分段、分片制作而成的。其支架为杆系结构, 可用机械螺栓装置或液压装置进行收缩和撑开; 支架竖杆底部有纵向移动装置, 可沿轨道纵向移动。

2.4 液压走行系统

液压系统设在前后支点的左右两侧位置。液压系统主要由千斤顶系统、水平千斤顶系统和移梁千斤顶系统组成。动力由高压柱塞式油泵提供, 控制方式为集中控制。

2.4.1 主千斤顶安装于辅助墩(或牛腿)和主梁之间, 通过开动主千斤顶实现主梁的上升和下降。主梁上升, 翻转底模横梁至水平位置可实现外模和底模就位到混凝土灌注位置; 主梁下降, 实现脱模。当需要移动模架系统到下一孔位时, 应使主梁处于下降位置。

2.4.2 水平千斤顶安装于辅助墩拖架上部和滑动支座之间, 用于实现推动主梁和外模的横向移动, 达到分离和合拢外模的目的。当液压系统推动主梁由两侧向中心移动, 则实现两块外模在中心合拢, 这就是混凝土灌注位置; 当液压系统推动主梁向外移动, 则使模板处于分离位置。移动模架到下一孔位前, 必须使底模向两侧分离, 避开桥墩, 以实现主梁纵向移动。

2.4.3 移梁千斤顶安装于辅助墩(或牛腿)上, 活塞行程为2m, 活塞杆顶有衔接器, 可与主梁上固定齿块衔接。开动千斤顶, 活塞杆伸出推动主梁在纵向滑动, 当活塞杆伸出到行程止点后, 脱开衔接器, 缩回活塞杆, 使衔接器联接于下一个位置。如此往复, 使主梁移向下一孔位。

3. 移动模架造桥机施工工艺

3.1 工艺流程

在墩台位置安设辅助墩; 组装模架并校正位置和标高, 合拢底模和外模并调整好预拱度, 使模架处于工作状态; 在墩台帽上准确安设支座, 绑扎底板、腹板预应力钢束及锚具; 安设内模轨道, 吊装安设内模并保证正确定位; 安设顶板钢筋及预应力钢束与锚具; 浇注梁体混凝土、养生; 混凝土达到规定强度后进行预应力张拉、注浆; 模架整体下落脱模; 解体底模横梁, 主梁和外模侧移; 模架通过液压移动系统整体移至下一工作位置。工艺流程见图2

3.2 施工要点

3.2.1 模架施工

(1) 模架的组装。模架的组装一般采用在桥位处分段组装, 直接用起重机拼装就位; 即在填筑和平整好的场地上安装支点。支点沿移动模架方向布置, 模架的两组主梁将在支点上进行组装。支点安放在地基上, 要求有足够的刚度和稳定性; 组装模架时, 支点不能下沉。在墩台高度较高的情况下, 拟在桥台台后平整组装场地, 组装后将模架整体推拉到墩台支点

上。场地的宽度和长度要满足拼装模架施工的刚度和稳定性；组装模架时，支点不能下沉。在墩台高度较高的情况下，拟在桥台台后平整组装场地，组装后将模架整体推拉到墩台支点上。场地的宽度和长度要满足拼装模架施工的需要；场地标高、中心轴线的位置和将要安放模架的桥梁墩台上的辅助墩（或牛腿）的标高及轴线位置相适应。其相应施工顺序为：在填筑和平整好的场地上安装支点。支点沿移动模架方向布置，模架的两组主梁将在支点上进行组装。支点安放在地基上，要有足够的刚度和稳定性；组装模架时，支点不能有下沉；拖动模架向桥位就位时不能产生任何方向的摇摆。

(2) 组装模架系统。模架的组装可在汽车起重机的配合下进行，组装的顺序是：模架主梁，模板支架，模板。在主梁前加装前平衡导梁，在主梁后部加装后平衡梁。在主梁上安装机械液压装置、电控设备，并按有关的技术要求进行调试，使达到设计要求。

(3) 梁模预拱度的调整。梁的外模是分段拼装的，每段模板下有横梁和模板支架支承，通过调整各横梁的高度，可实现对梁的预拱度的设置，预拱度的数值，由计算和统计数值确定，使符合设计要求。

3.2.2 内模施工

(1) 内模拼装是分段分片拼装而成，减轻了每段内模的重量，使制作、安装内模和拆模更加方便。内模模板安装在可以收缩和撑开的模板支架上，支架为系杆结构，用机械螺旋（或液压油缸）推动。支架装有移动装置，可沿预先安设的轨道纵向移动。内模组装可在台后场地上进行。拼装步骤是：安设支点，钢轨，拼装内模支架，安装内模板。在绑扎好的底模钢筋网中安设预制的砼垫块，支撑钢轨到正确位置和标高。钢轨安装好以后，应有足够的稳定性，保证内模正确就位。

(2) 内模就位。用吊车将分段组装好，吊装到已安装好的内模轨道上，当相邻两段内模

正确对位后，用连接板和螺栓将其可靠连接，使内模最终成为一个整体。

(3) 内模拆模。当灌注好的砼达到要求的强度后可以拆模。拆模的方法是利用杆系机构回缩来实现。脱模后利用卷扬机将内模板分块从轨道上拉出梁体，并用吊车调至已成桥面上或附近场地上，整修后以备下一次安装用。

(4) 曲线段外模板的调整。位于曲线段的现浇梁施工，外模板分成若干组沿施工方向与上横梁一起作径向移动，分组数量及移动距离根据曲线半径的大小来确定，组间设楔形钢板。

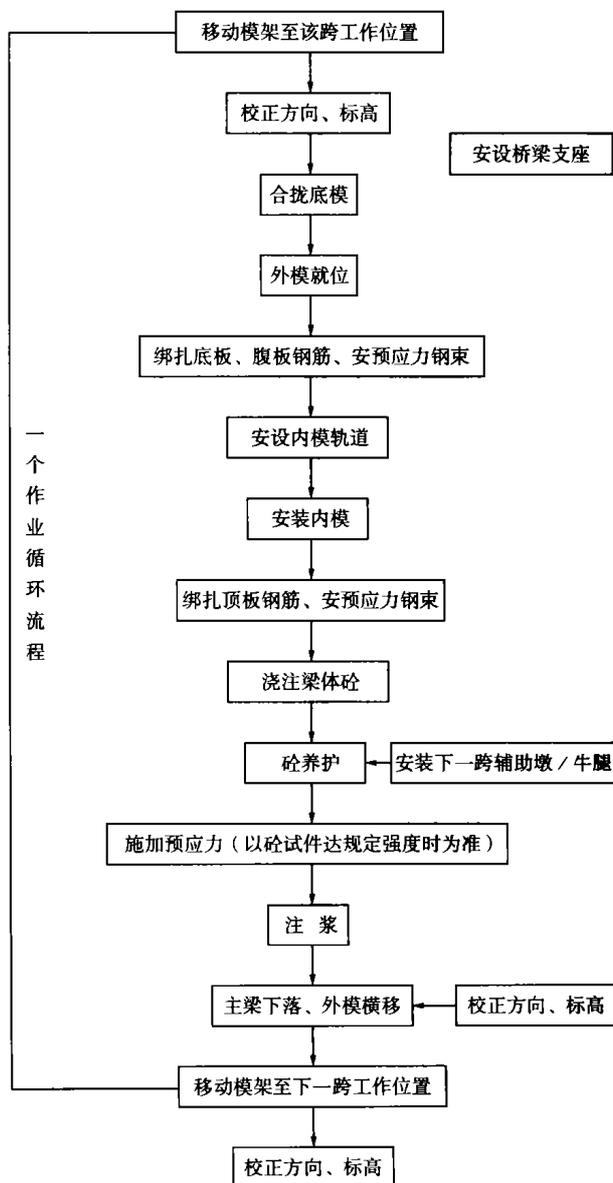


图2 施工工艺流程

3.2.3 系统组装后的模拟变形。模板安装好后，为检验各构件受力后的安全性，检查各个系统在各种工况时构件应变实测值的差异，消除系统结构的非弹性变形，确定施工预拱度，准确控制桥面标高和线形，按程序进行模拟变形试验，采用砂袋加载预压，重量为梁体自重的1.2倍。对主梁及外模板的变形及关键部位应变进行观测，主梁测点布置在横梁位置。

3.2.4 模架脱模，将模架移至下一孔位

(1) 模架整体下落脱模。外模板的脱模，通过下降左右两侧的主梁来完成。开动安装在主梁前端和后端的主千斤顶，实现主梁的下降。主梁的下降距离大于20cm。主梁下降时，为了减少冲击和保证安全，油压系统要缓慢连续运转，使千斤顶同步均匀下降。下降速度控制在1cm/次。降下千斤顶，直到托架支座上支点接触到主梁的下弦底部，仔细检查主梁位于正确位置后，拆去千斤顶顶部垫块。

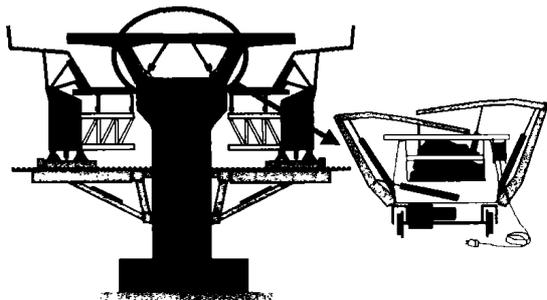


图3 造桥机滑曳状态及内模小车

(2) 主梁及外模侧移。拆分底模横梁、翻转底梁至垂直位置；开动水平千斤顶，向外横向移动主梁到达设计的分离位置。两侧外模板随主梁横向移动，左右两根主梁对称横向移动，距离相差不大于15cm，以保证平衡和安全。

(3) 模架移动至下一孔位。在前方桥墩的承台上装辅助墩。辅助墩上装有模架主梁可沿其纵向移动的滑动支座系统。在桥墩处安装移梁千斤顶托架，并将千斤顶活塞杆顶部的衔接器与主梁连接，将系统加压到50Bar，使移梁

装置预紧。开动移梁千斤顶，纵向移动两侧的主梁。

两侧主梁向前纵移要同步进行，前后相距不超过1m。仔细注意动力柜上的压力显示，不能有压力的异常突然变化，千斤顶的正常工作压力为150 Bar。

当导梁前部的滑曳鼻架越过辅助墩上横向桁架时，要控制导向，使导梁底部两侧的对位凸块正确进入滑动支座中心，防止主梁的横向摆动，保证其中心对正。

当模架移动到预定位置后，通过移梁千斤顶使主梁加强板精确对位到主千斤顶（主梁垂直支承千斤顶）的轴线位置。

利用起重机安装底架中部活动段，使其中心对接，当底模上对位装置正确对位后，用连接板和穿销将底架可靠连接在一起。如有需要，可用机械千斤顶调整底梁位置。

在主千斤顶上安放垫块，开动主千斤顶，顶升梁模到灌注混凝土的正确标高并锁定。当主梁顶起，离开支座支点1cm时，撤去移梁千斤顶。

移动模架造桥机工作状态及纵移见图4

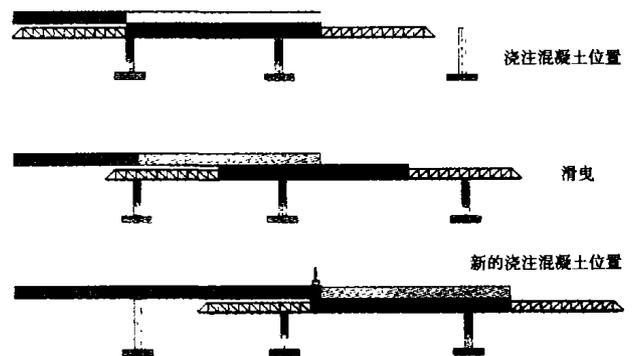


图4 工作状态示意图

4. 移动模架造桥机施工的难点及其应对措施

4.1 采用移动模架造桥机在桥位上现浇大截面整体箱梁，一次性浇注的混凝土数量大，要保证连续浇注，必须配置相应的混凝土生产设施，并要有备用设备。

4.2 要保证工期,必须缩短每个循环的作业时间,要求混凝土早强。同时为消除混凝土浇注过程中的模架变形对梁体的影响,混凝土的初凝时间需适当延长,调整混凝土的滞后应力。

4.3 整座桥梁的线形控制。在混凝土浇注过程中必须对整个模架的变形进行测量,掌握变形规律,及时调整模架的预拱度。

线形控制主要考虑以下几方面因素;梁体混凝土自重产生的挠度值;系统主梁在混凝土浇注后产生的变形;浇注第二孔以后各孔由悬臂吊杆产生的挠度值;预应力钢束张拉产生的起拱值(这个值与混凝土的弹性模量有关,在张拉前,要通过试验取得混凝土的弹性模量);牛腿节点非弹性变形产生的沉降值。根据几种因素推算每根横梁的预留拱度,通过调整横梁处的螺旋千斤顶来控制线形。

4.4 在张拉过程中,为避免模架的反拱力对梁体的影响,应逐步调整底模横梁下的机械千斤顶,每次调整高度应由计算决定。

4.5 走行移位。墩旁托架与主梁之间的支承压台上装有竖向、纵向、横向三种油缸,竖向大油缸起支承及下降脱模的作用,横向及纵向油缸完成模架横向开合及纵向走行的作用。

与架桥机相比,该造桥机的走行不同之处主要是整机分为左右两组模架分别基本同步前行,因此单片模架有侧倾的问题,可加侧向配重,侧向安全系数为1.29。

5. 关于移动模架造桥机施工的几点的讨论

5.1 不同施工方法的比较。

移动模架施工中中小跨度长联连续梁桥存在着施工速度相对较慢的问题,为减少模架移动次数、探索提高功效的可能,可分一次施工一孔、一次施工两孔两种情况。

根据有关研究表明,对于跨度32.7m连续

梁,每次施工两孔梁与每次施工一孔梁相比,每孔梁钢绞线用量前者是后者的1.31倍。分析原因主要是每次施工两孔、两孔单端张拉一次,造成预应力钢束预应力损失较大,预应力效率较低所致,跨度越大越明显。因此对于跨度较大的连续梁桥(如32.7m、40.7m及以上)预应力钢束单端张拉时,不宜采用每次施工两孔、两孔单端张拉一次的施工方法。

5.2 移动模架后支点的选择

移动模架的前支点一般都设在桥墩牛腿或临时支墩上,而后支点根据施工条件的不同则有以下两种形式:

方案一:后支点通过牛腿直接支承在桥墩上或利用桁架支承在桥墩的承台上;

方案二:后吊点(后支点)设于长联连续梁的施工接缝附近,通过连接构件,把钢箱梁支撑在已经施工的梁段上。(后横梁及后吊杆置于已完成箱梁的尾段,千斤顶顶起后横梁带动吊杆,将主梁悬挂在上一施工段箱梁的悬臂端,保证前后施工段接缝平整。梁体事先按设计位置预留吊杆孔,吊杆采用精轧螺纹钢筋,通过两台液压千斤顶施加顶力)。施工接缝一般设置在0.2倍的跨度处。

两种方案研究表明梁部混凝土应力均满足设计要求,因此从梁部设计来说两种方案都可行。方案一需要拆装临时支墩或墩上牛腿,施工较方案二略嫌复杂,但梁部挠度、预拱度控制相对容易;方案二可减少移动模架支墩的拆装时间,更适合于高原、跨河桥梁,但施工中挠度、预拱度控制难度大,综合考虑,一般宜采用方案一。

5.3 模架的挠度

混凝土梁体要随模架经过模板预设上拱,浇注混凝土时下挠,张拉梁体后又上拱的过程,所以模板预拱度的设置要考虑模架变形的影响,并通过实测第一孔梁数据并分析修正后,再确定后续孔位模板预拱度。

(下转第38页)

表5 本试验加固钢板和碳纤维布的刚度和强度对比项目

项目	截面积 A(mm ²)	抗拉弹性 模量E(GPa)	极限应力 σ (MPa)	抗拉刚度 EA(kN)	极限拉力 A σ (kN)	极限荷载 (kN)
钢板	1440	200	340*	288000	489.6	411
碳纤维布	167**	235	3000	39245	501.0	410
比值	8.62	0.85	0.11	7.34	0.98	1.002

*钢板的极限拉应力为实测值。

**预应力加固的碳纤维布在环氧树脂固化后成为碳纤维板，其截面积不计树脂的作用。

4. 波形齿夹具锚加固技术的优点

4.1 锚固可靠，加固效果好。已有的加固试验中，即使碳纤维布的粘贴层数达10层，加载试验时碳纤维布也没有发生剥离破坏，而是被拉断；

4.2 波形齿夹具锚的锚固作用比碳纤维布U形箍或环形封闭箍可靠得多；

4.3 波形齿夹具锚解决了FRP片材预应力施

加的夹具和锚具问题，并且利用波形齿夹具锚自身的特点，通过串联的方式可以方便地对FRP片材施加预应力；

4.4 采用波形齿夹具锚锚固的碳纤维布其强度利用率高，加固效果好，有利于减少碳纤维布的用量。已有的加固试验结果表明，碳纤维布的强度利用率可以达到100%，大大高于普通的加固方法；

4.5 节约成本。碳纤维布集中粘贴，大大减少粘贴面积，相应地减少了打磨、基底处理的费用，也减少了粘结剂的用量，极大地节约了成本；

4.6 碳纤维布集中锚固，操作简单，锚固成本低于碳纤维布压条。

鉴于此，笔者认为该波形齿夹具锚加固技术值得大力推广应用。

(上接第13页)

由于模板间均用螺栓相连，模板在一定程度上参与了造桥机主梁的受力；而主梁拼接螺栓又在工地施加了拧紧力矩，所以模架的实际挠度要小一些，浇第二孔时，模架不存在由于安装产生的非弹性挠度。

另外，因模板由预设上拱经浇混凝土变为下挠，张拉后又为上拱，模板间横桥向连接缝也随之变化。为此，在模板预拱度设置完成后，要拧紧侧模横桥向拼缝的上部螺栓，而要定量放松其下部螺栓。顺桥向预拱度在模板分段处各点按二次抛物线线形过度，时间证明分段曲面及模板的弹性变化不影响混凝土梁的外观质量。

6. 结束语

移动模架造桥机具有性能稳定，安全可靠，标准化作业自动化程度高，防护措施完善等特点。在国外已经得到了广泛应用，在国内

也得到了成功应用，如秦沈客运专线小凌河特大桥32m双线预应力混凝土箱梁施工，采用了大桥局生产的ZM32型移动模架造桥机；在南京长江二桥使用了挪威NRS公司的MSS(Move Support System)系统，都属于下承式移动模架造桥机。对于中小跨度长联连续梁桥的施工应当首选移动模架造桥机。

参考文献

- 1、张乐亲、周汉林. ZM32移动模架造桥机在秦沈客运专线的的应用. 建筑机械. 2001(4).
- 2、铁道部科技研究开发计划项目《中小跨度长联连续梁桥技术研究》之《总报告》、《分报告六一施工工艺、施工方法研究》. 铁道第三勘测设计院、中铁二局等.

