半倒 T 隐形盖梁上箱梁架设的研究与应用

杨德玉
（中交一航局第二工程有限公司）

摘　要：半倒 T 隐形盖梁作为一种新型盖梁结构，其独特的倒 T 形设计对箱梁架设精度提出了较高要求，且存在施工作业面狭小、作业难度大等技术难点。为有效解决该类型盖梁上的箱梁架设难题，结合项目超低净空、桥宽变化的实际工况，采用优化架桥机结构、搭配轨道式运梁车及设置临时支墩等针对性技术措施，取得了架梁进度高效、成本可控、安全稳定的良好成效。实践证明，对于半倒 T 隐形盖梁各类工况下的箱梁架设，采用架桥机配合针对性技术措施的施工方案具备普适性，可确保施工顺利完成。

关键词：半倒 T 隐形盖梁；箱梁架设；超低净空；桥宽变化；架桥机

0　引言

半倒 T 隐形盖梁作为新型预应力混凝土盖梁，是近年青岛地区高架桥工程的推广应用结构。与普通平头盖梁相比，该盖梁可有效降低桥梁建筑高度、减少伸缩缝布设，箱梁架设后其倒 T 结构可遮蔽简支梁体，兼具良好的景观效果；且桥面连续施工便捷，能提升行车舒适性。但其架梁施工难度大，对箱梁架设的精度控制要求高，实际工程中易出现桥面宽度变化、受既有构筑物影响需低净空架设等特殊工况，需因地制宜选用对应的架梁施工方案。依托唐河路–安顺路打通工程李村河大桥工程实例，详细介绍半倒 T 隐形盖梁在上述特殊工况下架梁关键技术及现场应用要点。

1　工程概况

唐河路–安顺路打通工程为青岛市南北向贯通性主干道，为了分流环湾路等南北通道交通压力，加强东岸城区南北向交通联系而建设。李村河大桥为唐河路–安顺路打通工程的关键控制性工程，上跨李村河，上部结构为钢筋混凝土预制箱梁。桥体采用结构简支、桥面连续体系，下部结构采用直径 1.6 m 的圆柱截面双柱型桥墩、半倒 T 隐形盖梁，基础为钻孔灌注桩+承台。河道内桥梁基础及下部结构利用枯水期施工完成。李村河大桥设置东西分幅，每幅 10 跨，0 号—7 号跨位于河道中，8 号墩位于既有跨海大桥连接线下方，跨海连接线梁底到 7 号—8 号跨桥面的最小净空高为 5.5 m，8 号—10 号跨位于河北岸既有道路上方，由其他标段施工单位先于前 8 跨完成架梁任务。

大桥总体平面布置图如图 1 所示。

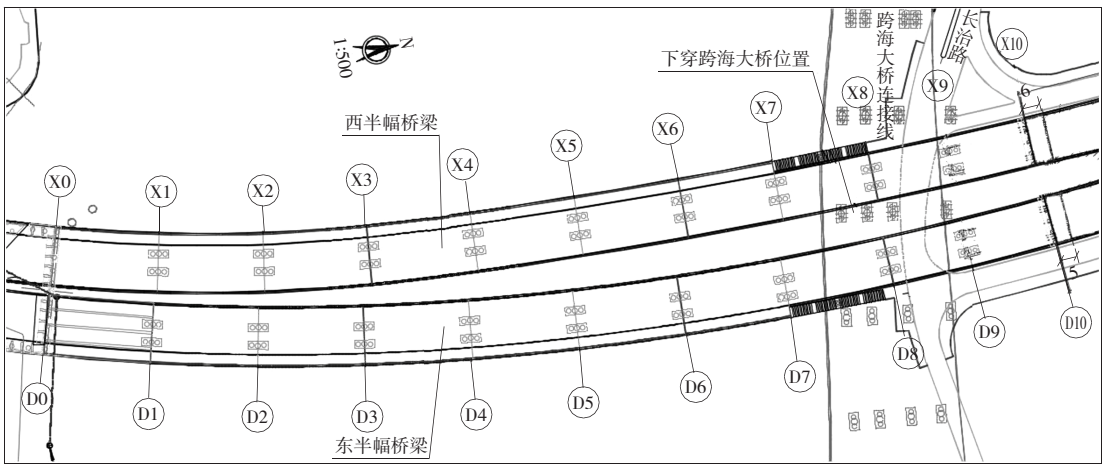
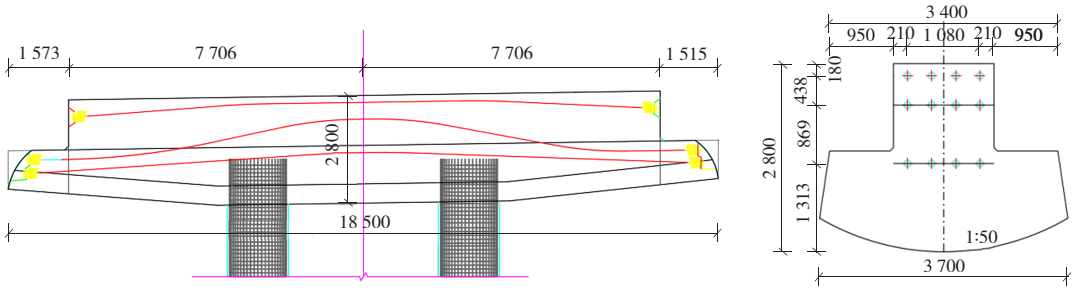


图 1　平面布置图(m)

半倒 T 隐形盖梁分为上下两部分，其中下半部分主要作为盖梁的承重结构，支座系统位于该部位，简支梁架设也在该部位进行，预制箱梁梁长度为 30 m、33 m 两种，最大起重约 187.2 t，采用轮胎式运梁车经市政道路运至桥址。盖梁结构如图 2 所示，箱梁结构断面如图 3 所示。



(a) 立面图　(b) 1/2 处横断面图

图 2　盖梁立面图及 1/2 处横断面图(mm)

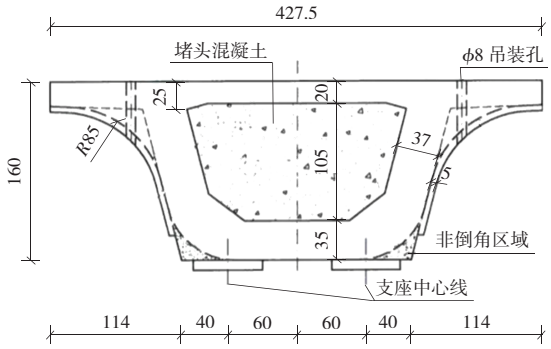


图 3　箱梁断面(cm)

2　方案比选和确定

桥梁下部结构已于枯水期施工完毕，架梁期在 9 月份，河道水位相对较高，无论是履带吊双机吊装方案，还是门吊双机吊装方案，都需要在桥梁两侧修建钢便桥和平台，成本较高，另外，桥梁两侧有市政管线敷设，不具备修建便桥条件。采用架桥机架设，虽然施工技术要求较高，但架桥机不受墩高、梁型等影响，设备成型快，施工效率高。综合对比分析，李村河大桥确定架桥机架梁方案。

考虑到下穿既有高架桥净空非常小，在桥头设置门式起重机，将预制箱梁从轮胎式运梁车吊至现场轨道式运梁车上。架桥机参数见表 1。采用架桥机的主要特点包括：

1）架桥机的主梁采用“A”字断面蜂窝式结构，设计新颖且结构合理。该设计具有良好的力学性能，受力传递效果显著，自重轻、刚度高、挠度小，并且耐用性强等优点，用销轴连接主梁各节段，便于快速拼装。

2）架桥机主梁总长较短，根据不同工况可采用自平衡过跨或是吊梁配重过跨，采用步履过跨，工人劳动强度低，施工效率较高。使架桥机对弯桥具有更大的适应性，起吊天车采用距离很近的双卷扬结构，能够实现边梁一次就位。

3）架桥机前、中支腿位置可以根据桥梁斜交角度调整，可适应 45°以下任意角度斜桥，架设 35 m 以下的梁时，重新调整中支腿或前支腿的位置，即可满足对 35 m 以下预制梁的架设，在同一座桥上有不同跨径的预制梁时，架桥机更显出其优越性。

表 1　架桥机参数表

项目	参数
设备型号	HJQA240-35A3
额定起重量/t	240
适宜跨度/m	≤35
适用桥梁横坡/%	≤3
适用最大纵坡/%	±3
纵移速度/(m·min^{-1})	3.0
横移速度/(m·min^{-1})	1.9
提升速度/(m·min^{-1})	0.64
过跨速度/(m·min^{-1})	3.7
整机横移速度/(m·min^{-1})	1.9
过跨方式	步履式过跨
整机质量/t	约 162
整机功率/kW	133
过跨悬臂挠度/mm	≤500

3　施工工艺

3.1　施工工艺原理

架桥机采用步履行进过跨、齿轮齿条传动，无需配置支腿纵移动力，依靠行驶带动支腿迁移、使用液压马达驱动卷筒式、可靠双保险制动等，整机自锁性能良好。支腿借助行车动力实现纵移，可降低整机功率；整机可进行横向移位，可采用

全幅机械化落梁。采用油缸顶推加整体横向移动的方式，实现边梁一次安装到位。此外，控制系统采用相互锁止性能良好的可编程控制器控制，可防止 2 个方向同时动作，并可有限控制错误操作，确保安全可控。

3.2　施工工艺流程

主要工艺包括施工准备、架桥机的安装、预制梁的安装、架桥机过跨 4 个主要步骤。

3.3　施工关键技术

架桥机架梁作业必须做到分工明确，现场指挥员、操作工、电工、安全检查员必须是专职人员，作业时要统一指挥，确保施工组织严密、防范措施到位。

3.3.1　施工准备

1）在施工开始之前，向各专业的施工人员仔细而认真地进行安全和技术交底，复测每个预制构件的几何尺寸以及相应位置与之相关的距离是否符合[1]。

2）吊装前对构件进行检查，核对构件尺寸、编号等信息是否与待吊装位置相符，事先切割超长钢筋，并对外表进行清扫，去除外表面垃圾、破碎混凝土等，防止异物吊装时掉落发生意外。对构件的几何尺寸检查确认，确保达到设计要求和规范要求。根据架梁顺序编号符合要求的构件，并将中线位置标在梁上，以备架设之用。检查确认支座垫梁石几何尺寸必须符合设计和规范要求[1]。在盖梁上标注支座中心线、梁端线和临时支座的位置[2]。

3）根据计算选定的吊杆、螺母表面应光洁，避免出现剥落、角度尖锐、毛边有刺、有裂的情况[3]。安装吊杆时，务必保证每根吊杆上下螺母的外露丝扣不小于 2~3 个螺距，具体以设备说明书为准；吊梁时，吊杆必须受垂直轴向拉力，不可受弯或受剪，经检查确认无误后，由现场指挥发出提梁信号。

4）所有施工机械设备必须完好，杜绝带病作业[3]，务必检查梁体落梁时的位置，保证水平下降，确保一次成功落梁。

3.3.2　架桥机安装

架桥机桥头在路基上进行拼装。桥机配件运至施工现场后，利用轮胎式起重机进行架桥机拼装。整个架桥机组装完毕后，利用事先铺装好的前支腿及中支腿横移轨道将架桥机横移到指定位置。架桥机就位如图 4 所示。

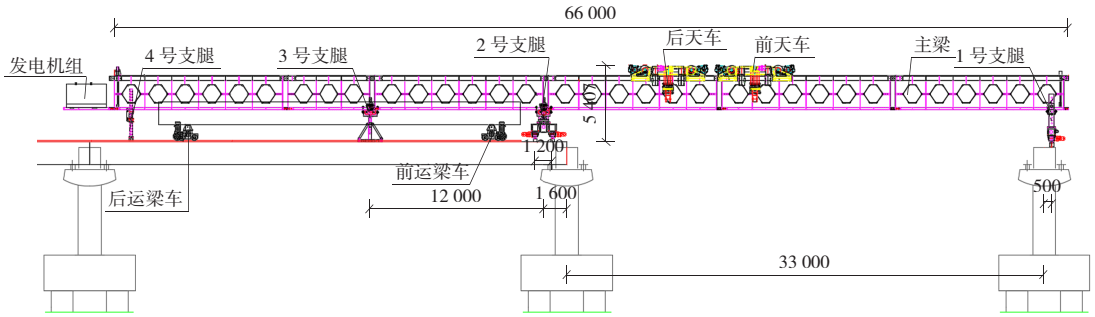


图 4　架桥机标准跨施工站位图（mm）

拼装架桥机后，对销轴、螺栓进行逐个检查，确保每个销轴联结牢固，每个螺栓紧固到位；检查电器系统有无异常、接线是否有误、电机转向有无问题；检查液压系统油泵运转有无异常，阀体动作是否灵活，有无漏油现象。

3.3.3　预制梁安装

在每次作业之前，都必须进行 1 次试吊，首先需对卷场机组进行 2~3 次制动试验，然后将梁稍微吊起进行架梁前机具设备检查，确保钢丝绳无跳槽，吊架插销无松动，检查无异常后方可进行架梁操作。首跨箱梁架设，控制好架梁速度，在掌握操作要领的同时，熟悉半倒 T 隐形盖梁的作业环境和条件，宁慢勿快，安全第一。为防止梁体发生剧烈摆动，吊梁起重装置动作同步进行，受力均匀，吊梁、移梁、落梁时，梁片尽可能保持水平和稳定。

将预制箱梁采用轮胎式运梁车运至现场换装点，用龙门吊换装至轨道式运梁车上，再由轨道式运梁车运梁至前天车可起吊位置；前天车将梁前端起吊，与后运梁车共同纵向移梁，轨道式运梁车速度控制在 15 m/min 以下，设专人监视电缆收放情况，运到后天车能起吊的部位停止[4]；后天

车吊起梁的后端，前后天车共同吊梁，先纵向后横向移动到安装位置上方，两天车同时吊梁下落，落梁时通过已标记的中线位置控制落梁位置，确保梁体安装到位。主要安装顺序见图 5。

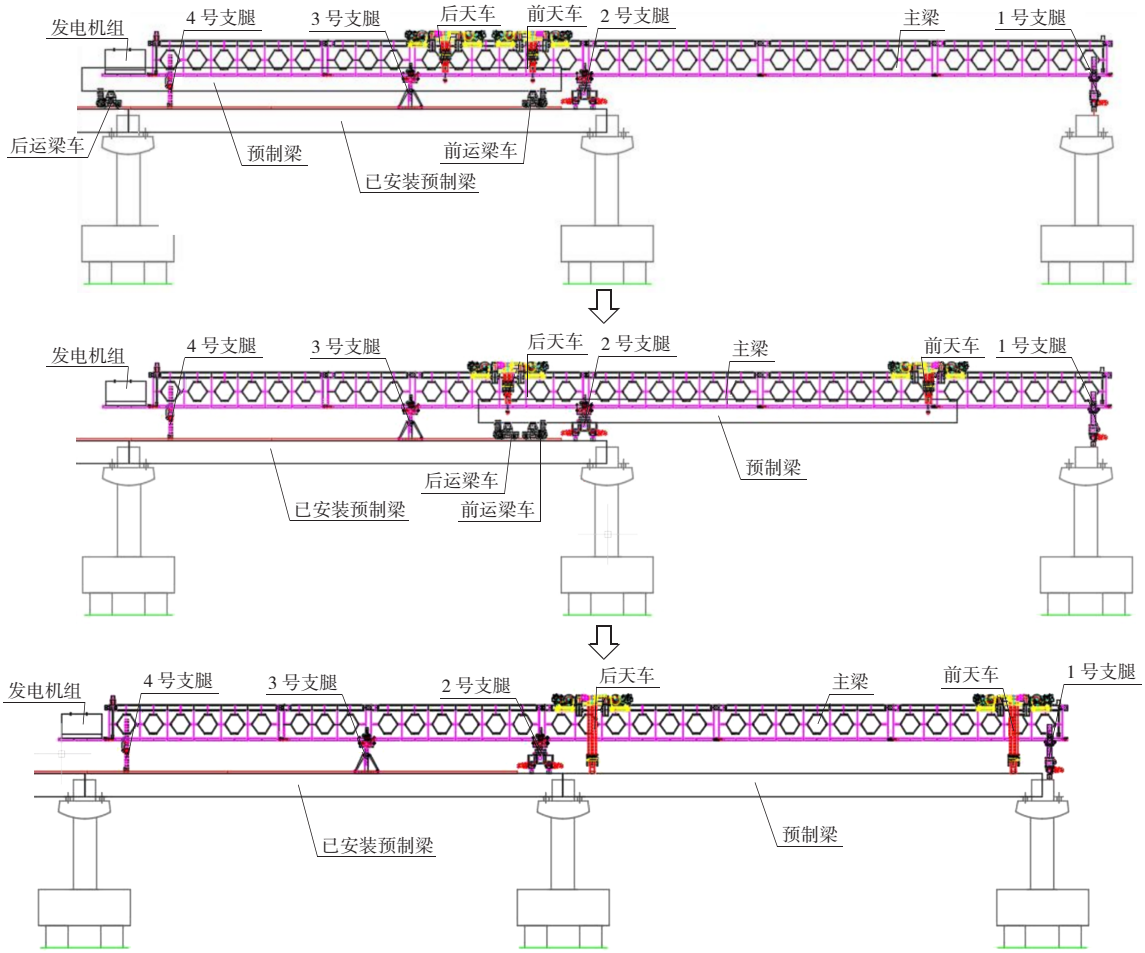


图 5　预制梁安装

施工过程中，为了防止运梁车脱轨，轨道式运梁车速度控制在 15 m/min 以下，设专人监视电缆收放，一旦发生电缆滑车卡住情况，立即停机，由专职作业人员进行故障处理。天车起吊梁体的提升作业和吊梁行走严禁同时进行，提升作业后必须静待箱梁平稳后，再进行吊梁行走的移梁操作，天车纵移时，梁片须处于两侧主梁的中央位置，严禁偏位移梁。横向移梁只能在吊梁位置或纵移到位时才能进行。落梁至最后 20~30 mm 时，再次检查梁片纵向位置，如有偏差及时调整后再继续落梁。为了防止架桥机在行走过程中下滑，架桥机的支腿高度要结合桥梁纵坡及时调整，确保架桥机主梁的坡度小于 2%。作业过程应分工明确，现场指挥员、操作工、电工、安全检查员必须是专职人员，作业时要统一指挥，确保施工组织严密、防范措施到位。

3.3.4　架桥机过跨

完成一跨梁架设后，架桥机 1 号、3 号腿顶升，使 2 号腿悬空向前移动至 1 号支腿后侧；1 号、4 号腿收起，架桥机主梁在 2 号、3 号腿反托轮的驱动下，向前移动 15 m；4 号腿支撑，3 号号腿收起悬空，向前挂行 18 m 后重新支撑；再次收起 4 号支腿，两天车开至桥机 3 号腿附近，注意后天车到桥机尾部的移动距离应大于架桥机主梁二次前移的距离；架桥机主梁再次在 2 号、3 号腿反托轮的驱动下，向前移动 18 m，1 号支腿支撑于前盖梁顶面，架桥机纵向过跨到位，注意架桥机主梁往前移动的同时，两天车须向桥机尾部移动，桥机主梁纵向到位，天车也正好开至桥机尾部；再次支撑 4 号腿，收起 3 号腿并向前移动 15 m 后再支撑；锚固各支腿与主梁的连接，调整天车的位置，架桥机具备喂梁、架梁条件。

4　工程应用

4.1　施工关键技术

4.1.1　超低净空架梁

李村河大桥第 8 跨下穿跨海大桥高架，跨海连接线梁底到桥面的最小净空高为 5.5 m，针对此超低净空工况，采取措施包括：1）架桥机起吊天车主梁采用“下凹”式，卷扬机在天车主梁两侧悬挂，而非常规的上座于主梁上，从而大大降低了架桥机整机高度；2）适当加大架桥机主梁的中心距离，保证边梁一次到位；3）为了保证架桥机喂梁、提梁时有足够的净空高度，架桥机则采用专门配套的轨道式运梁车喂梁，如图 6 所示。

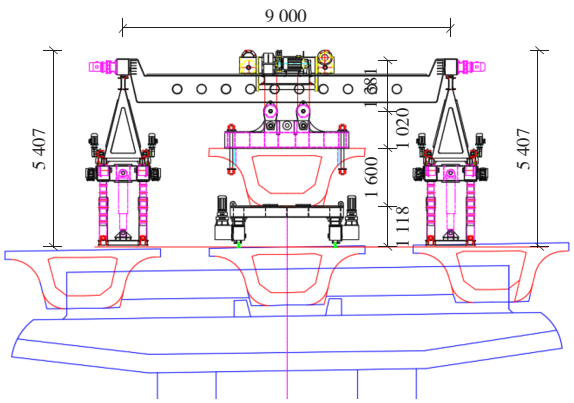


图 6　轨道式运梁车喂梁(mm)

4.1.2　桥宽变宽处架梁

本工程在 7 号墩处，桥面宽度由 4 片梁变为 3 片梁，7 号墩盖梁长度还是 4 片梁的长度，架桥机架梁方向是从 3 片梁向 4 片梁方向架设。

当架桥机架设 7 号—6 号墩梁跨时，1 号支腿支撑在 6 号墩(4 片梁)的隐形盖梁上，2 号腿支撑在 8 号—7 号墩梁跨(3 片梁)的桥面上。安装边梁时，当架桥机的大型小车横向移动到极限位置，2 号支腿的轮箱会横向移动出桥面，此时需提前在 2 号支腿横向移动的轨道下方临时搭建临时钢支架，临时钢支架根据项目实际情况自行设计和验算。

4.2　改进措施

1）梁体起吊施工过程中，吊装口部位混凝土易产生开裂缺陷，影响构件局部结构完整性与整体受力性能。

改进措施：在吊装口预设位置增设防裂钢筋，优化局部配筋构造，提升吊装口部位混凝土的抗裂及抗剪能力，从结构设计层面规避开裂风险；起吊作业时，在吊装口与吊具接触的部位增设保护垫，缓解吊具起吊时的局部集中应力，避免因硬接触、应力集中引发混凝土开裂；采用定制钢丝绳兜底方式吊装，兜底外轮廓设保护措施，兜底面可铺 10 mm 橡胶板以分散冲击与应力，同时控制起吊速度，确保受力均匀。

2）北方地区早晚温差较大，温变工况可能导致梁体收缩变形效应，支座安装位置需要针对性调整，避免因温差引发梁体位移过大而造成支座损伤。

改进措施：支座安装施工优先选择常温环境开展，从源头规避温变对梁体变形及支座安装的不利影响；若受施工条件限制无法避让，支座位置调整需先对梁端进行提升作业，避免在梁承载状态下进行大位移操作，降低局部应力集中风险，再实施支座精准调整，有效释放梁体温变收缩变形产生的位移应力，避免支座受损，保障支座结构受力及使用安全。

4.3　效益评估

1）施工效率

架桥机 1 d 可架设 4 片预制梁，起重机及龙门吊受高度及限高作业影响效率相比于架桥机较低，相比于起重机和龙门吊受风速影响较小。

2）经济效益

因架桥机工效快，可节省预制梁场存梁区场地，且大幅降低施工作业高度，有效解决超低净空作业问题，可连续作业，机械使用率较高，成本显著降低。

3）社会效益

在位于低净空或周边存在建筑物的情况下，使用半倒 T 隐形盖梁，在一定程度上降低桥梁设计高度和架梁作业高度，减小对周边环境的影响。

4.4　应用效果

在半倒 T 隐形盖梁结构中采用架桥机架梁工法，有效破解了该类盖梁架梁施工的技术难点，切实解决工程实际施工难题，施工效率与质量得到双重保障，可作为后续同类桥梁工程施工的典型示范工艺。该工艺在安顺路打通工程李村河大桥中成功应用，针对工程现场超低净空、桥宽变化等复杂工况，提前优化施工方案，采取改造架桥机、优化运梁方案、增加辅助设施等针对性技术措施，精准解决了净空不足导致的架桥机作业

（下转第 79 页）