

浅谈山区 145 米跨连续刚构桥施工技术实践

王方旭 郭裕强 郭浩田

中铁建大桥工程局集团第一工程有限公司, 辽宁 大连 116033

[摘要]文中介绍宜昌附近山区新建高速薄壁空心墩、双肢薄壁空心墩、145m 跨连续刚构桥施工案例, 针对不同结构的超高墩身采用不同托架和反力架压载方式解决 0 号段施工, 使用菱形挂篮完成悬臂梁施工, 同时介绍了主要施工工艺和部分控制参数, 为类似的桥梁工程提供了一定的参考。

[关键词]山区桥梁; 连续刚构桥; 薄壁空心墩; 挂篮施工

DOI: 10.33142/ec.v8i2.15379

中图分类号: TU37

文献标识码: A

Brief Discussion on the Construction Technology Practice of 145 Meters Span Continuous Rigid Frame Bridges in Mountainous Areas

WANG Fangxu, GUO Yuqiang, GUO Haotian

China Railway Construction Bridge Engineering Bureau Group 1st Engineering Co., Ltd., Dalian, Liaoning, 116033, China

Abstract: This article introduces the construction cases of newly built high-speed thin-walled hollow piers, double leg thin-walled hollow piers, and 145 meters span continuous rigid frame bridges in the mountainous areas near Yichang. Different brackets and reaction frames are used to load the ultra-high pier bodies of different structures to solve the construction of Section 0, and diamond shaped hanging baskets are used to complete the construction of cantilever beams. At the same time, the main construction technology and some control parameters are introduced, providing some reference for similar bridge projects.

Keywords: mountain bridges; continuous rigid frame bridge; thin walled hollow pier; hanging basket construction

1 工程概况

晏家坪大桥位于湖北省宜昌市五峰县五峰镇茅坪村, 设计速度 80km/h, 双向四车道。大桥处于分离式路段, 全桥共 2 联, 桥梁全长 462.16m, 纵坡 2%。上部结构采用预应力混凝土连续刚构箱梁+预应力混凝土连续 T 梁, 左幅、右幅桥跨布置均为 80m+2×145m+80m。1 号墩墩身采用双肢等截面空心薄壁墩, 2 号墩采用单肢变截面空心薄壁墩^[1], 3 号墩采用双肢变截面空心薄壁墩, 1 号、2 号、3 号墩桩基采用嵌岩桩; 0 号台、4 号台采用扩大基础桥梁布置图如图 1 所示。

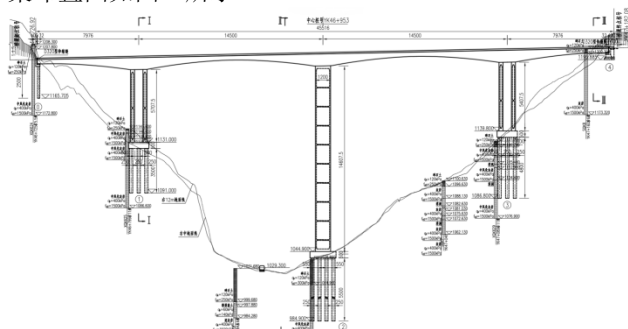


图 1 桥梁布置图

现浇箱梁为单箱单室^[2], 箱梁顶板宽 12.5m、底板宽 6.5m、翼板悬臂 3.0m, 顶板厚 0.32m, 梁高 9.4m~3.4m 逐节变化, 腹板厚 1.0m~0.5m 逐节变化, 底板厚 1.1m~

0.32m 逐节变化。边墩支架现浇段 4 个, 单节长 6.26m; 边跨合龙段 4 个, 单节长 2m; 中跨合龙段 4 个, 单节长 2m。采用 C55 砼, 0#段和合龙段采用 WHDF 砼, 掺量 9kg/m³, 采用三向预应力, 悬臂梁断面情况如图 2 所示。

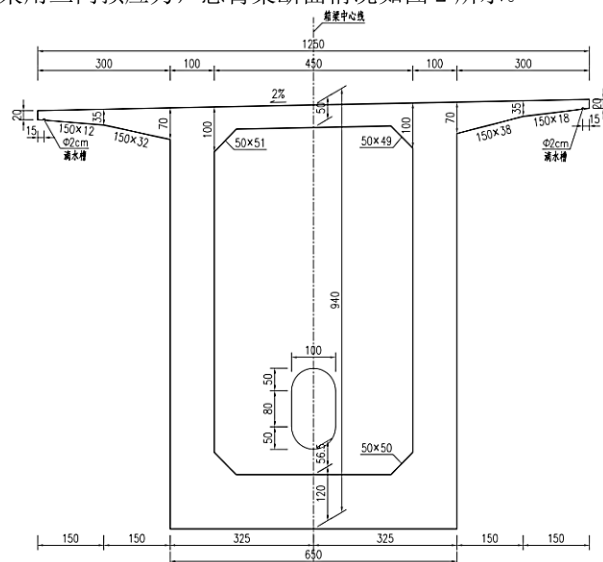


图 2 悬臂梁断面

2 总体施工方案

2.1 施工准备与支架系统

本节介绍了施工前的准备工作, 包括底部支架的安装

方法。支架系统采用墩身预埋孔道,结合托架、横梁、纵梁、分配梁以及盘扣支架构建。对于超过30米高的墩身,通过墩顶反力架进行预压,确保结构稳定性。0号块的模板选择也在此节说明,底模和内侧模采用16mm厚竹胶板,外侧模则使用6mm厚钢板。

2.2 0#块施工

0#块砼两次浇筑^[3],底部支架采用墩身预埋孔道安装托架+横梁、纵梁、分配梁+盘扣支架。墩身高度超过30m,托架利用墩顶反力架达到预压目的。0#块底模、内侧模采用16mm厚竹胶板,外侧模采用6mm厚钢板。

2.3 悬臂梁施工

悬臂梁施工采用12套菱形挂篮,挂篮50t、模板27.5t、兜底11.57t,总重89.07t,悬臂节段长3m×5节+3.5m×6节+4m×7节。墩身高度较高,采用堆载预压风险高,在0号段设置反力架,对挂篮进行预压。0#块完成预应力束张拉,吊运菱形架等构件在0#块组拼、安装,挂篮安装完成、检查验收、签证后,利用反力架预压,挂篮前移、安装钢筋、预应力束等,浇筑1号段砼,砼强度满足90%要求后张拉、压浆预应力束,挂篮前移,循环往复施工18个节段。

2.4 边跨现浇段施工

0#台、4#台边跨现浇段,采用盘扣支架施工。经基础开挖、检查承载力、浇筑基础、支立盘扣支架和支架预压后,在支架上现浇长6.26m直线段箱梁。

2.5 合龙段施工

合龙段施工分为两个子部分^[6],分别介绍了边跨和中跨合龙段的施工技术。边跨合龙段施工包括挂篮的就位、水箱加载、线型调整、刚性支撑的安装以及混凝土的浇筑和卸载。中跨合龙段施工则侧重于挂篮的前移、水箱加载、支撑安装和混凝土浇筑,以及后续的张拉和压浆工作。两部分均强调了在混凝土强度达到100%后进行的预应力束张拉和压浆,以及施工完成后的支撑和挂篮拆除工作。

3 施工方法

3.1 0#段施工

3.1.1 托架安装及预压

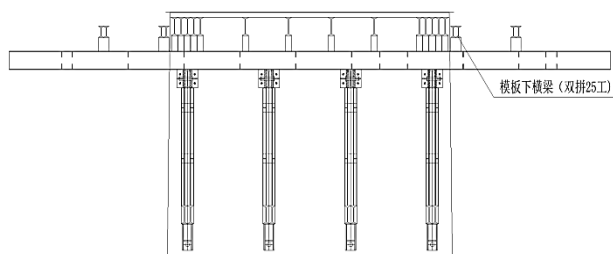


图3 托架结构正立面布置图

0号块托架利用墩身预埋件,安装三角支撑架,在其上横向铺设工字钢主梁、纵向分配梁、盘扣支架。墩顶托架预压采用反力架进行预压,预压重量按照箱梁恒载和施

工机具总重之和的120%。托架结构正立面布置情况如图3所示。

3.1.2 外模施工

在0号块的侧面模板设计中选用了6mm厚的钢板^[4],背面加固采用8号槽钢及成对的10号和12号槽钢桁架。模板由专业厂家定制,并在进场时进行了验收。模板上等距设置了直径22mm的拉杆孔,配备20mm直径拉杆,底部支撑在托架横梁上,并通过焊接固定。端模部分,采用10mm厚钢板,顶部预留预应力孔道,并在底板和腹板处预留钢筋槽口。

横向预应力结构中,张拉槽口紧贴模板设置,槽口处布置封锚钢筋以确保模板贴合。竖向预应力钢筋的张拉槽口在第二次混凝土浇筑时预埋,槽口设计为顶部宽底部窄,预埋深度精确控制,锚垫板与槽口底部紧密接触。箱梁内模采用16mm厚竹胶板,结合10cm×10cm木方和盘扣架支撑,形成稳固的内模系统,模板布置情况如图4所示。

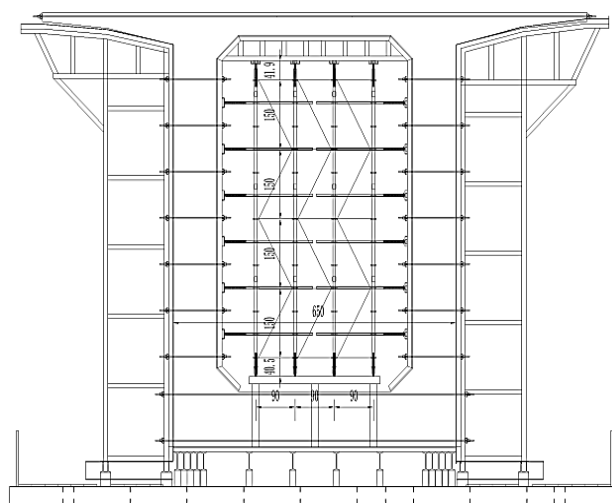


图4 模板布置图

3.1.3 内膜、盘扣支架的安装

在本项目的模板支撑系统设计中,内侧模板及顶板底部采用了16mm厚的竹胶板,配合10cm×10cm的木方进行加固。外侧模板则选用了6mm厚的钢板,背面加固结构包括横向布置的8号槽钢,整个模板系统由盘扣支架提供支撑。支架系统的立杆在横桥向的间距为0.9m,而在纵桥向的间距则介于0.6m至0.9m之间,水平杆和竖向斜杆均进行全面布置。立杆的外径为60.3mm,壁厚为3.2mm;水平杆的外径为48.3mm,壁厚为2.5mm;竖向斜杆的尺寸与水平杆相同;横撑的外径为48mm,壁厚为3.5mm。模板上设有直径为22mm的拉杆孔,拉杆选用直径20mm的精轧螺纹钢制成,其横向间距为1m至1.2m,竖向间距为0.7m至0.8m,以确保模板的整体稳定性。内模盘扣支架正立面布置情况如图5所示。

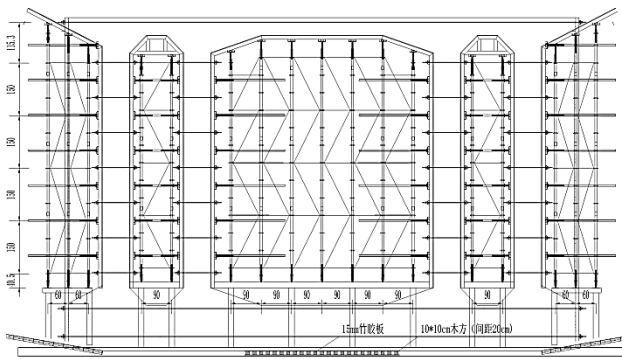


图5 内模盘扣支架正立面布置图

3.1.4 混凝土浇筑

0号块砼为C55WHDF砼, 体积为562.2m³和573.6m³, 第一次浇筑5m, 浇筑数量约300m³。浇筑时间选择气温变化较小的时间段。先底板、再腹板和横隔板, 水平分层、对称浇筑, 每层厚度约30cm。振捣时, 注意观察振捣效果, 避免出现孔洞、蜂窝、漏振等病害。顶板由翼板边, 向腹板、横隔板位置浇筑, 在腹板、横隔板位置结束。最终收尾位置设置在砼较厚位置, 保证混凝土融合质量。混凝土浇筑完成, 一次收面、抹平后, 外露面二次赶光、抹面。

3.1.5 混凝土养护及凿毛

混凝土浇筑完成后, 立即覆盖复合养生膜进行养生, 复合养生膜纵横搭接处不小于10cm宽度, 待混凝土初凝后, 在养生膜下洒水, 在顶部用木方井字形盖压, 以免风掀起养生膜, 达不到养生目的, 养生时间不小于7d。箱室内混凝土养生, 直接在箱室内洒水养护。端模拆除后凿毛处理, 凿毛采用机械凿毛, 砼强度不低于10MPa, 深度不低于8mm, 露出粗骨料, 并清松散材料。

3.1.6 预应力张拉、压浆

整体张拉顺序为: 腹板→顶板→竖向→横向, N号梁段施工完成后, 再张拉n-2号梁段的竖向预应力钢筋及横向钢束。竖向预应力在第一次张拉完成约两周时间, 进行二次复拉, 严禁遗漏。

纵向预应力钢绞线在梁体混凝土浇筑后穿束。张拉前, 应确定锚具安装正确, 结构或构件混凝土已达到要求的强度和弹性模量。

0号段纵向预应力初张值取设计张拉控制力的15%~25%, 持荷时间不少于3分钟。箱梁纵向预应力钢束在箱梁横截面, 保持对称同步张拉, 至少四个千斤顶同步工作。

预应力筋张拉锚固后, 孔道在48h内完成压浆。浆的充盈度应达到孔道另一端饱满且排气孔排出与规定流动度相同的水泥浆为止, 压浆的压力为0.5~0.7MPa。关闭出浆口后, 保持0.5MPa的稳压期, 稳压的时间5分钟。

3.2 挂篮施工

3.2.1 挂篮安装

挂篮悬臂浇筑1~18号段^[5], 混凝土标号C55。第1~5号段长3.5m, 第6~11号段长3.5m, 第12~18号段长4m。挂篮由主桁系统、行走系统、横梁、操作平台、通道、兜底等组成。

依次安装轨道、支座、主桁架、后下横梁、前上横梁、前下横梁、兜底安装、底模、外滑道梁、侧模前移、内滑道梁、内模安装。

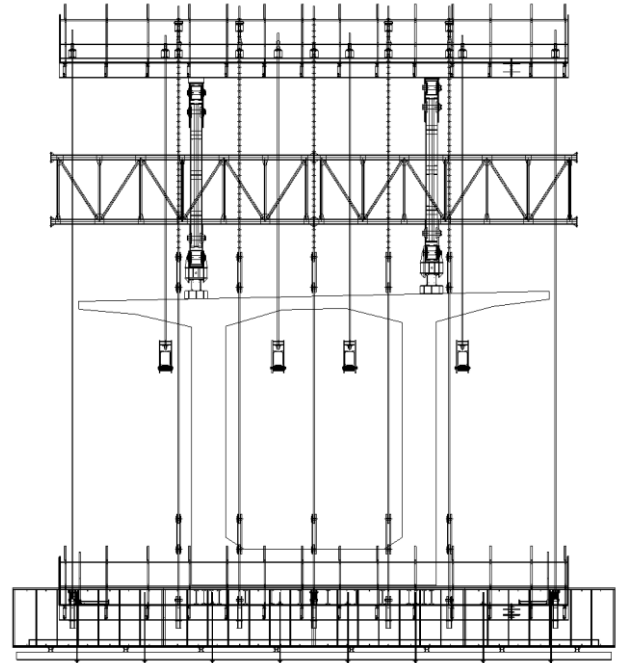


图6 挂篮构造布置正视图

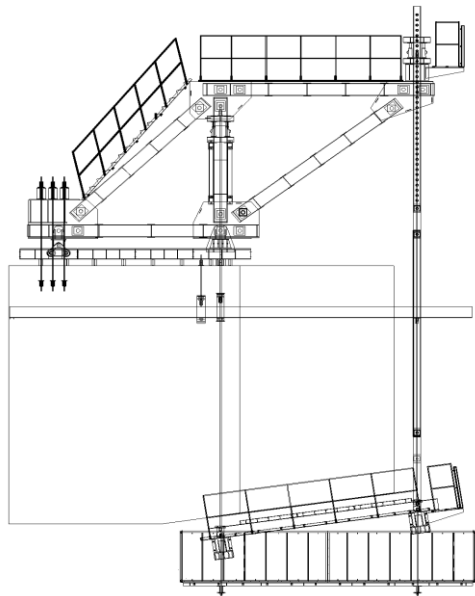


图7 挂篮构造布置侧视图

3.2.2 挂篮预压

用千斤顶在箱梁底板范围内对挂篮进行预压加载^[6]。预压荷载为悬臂浇筑最大节段重量的 1.2 倍。分级按照 10%、50%、100%、120%进行预压和卸载。反力架为牛腿双拼 I45b 工字钢加工制作，与预埋钢板焊接、螺接。千斤顶放置在腹板中心线位置，其下纵向双拼拼型钢，再横向均布 4 道双拼 I20a 工字钢^[7]。

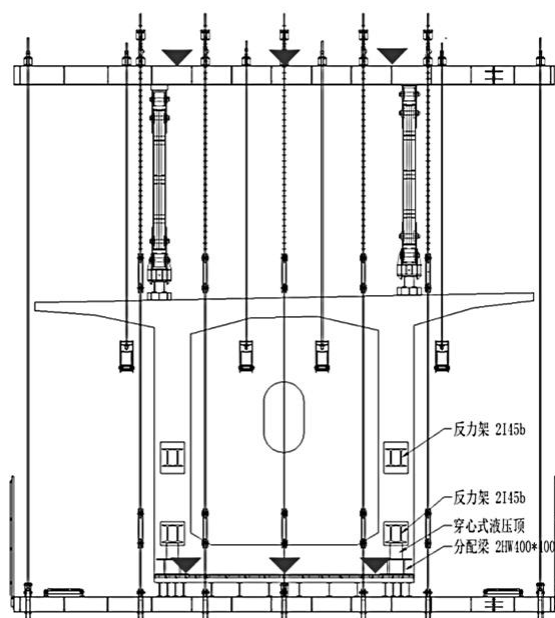


图8 挂篮预压布置图

同步测量菱形架竖向位移；前上横梁竖向位移、前下横梁竖向位移、后横梁竖向位移。每级预压完成后 6h 测量变形数据；最终荷载预压完成后 12h 测量 H_{n+1} 变形数据；卸载后及时测量 H_n 末次观测。非弹性变形值 h_n =初始值 h_0 —最终荷载值 H_{n+1} ；弹性变形值 h =最终荷载值 H_{n+1} —卸载后值 H_n 。

3.2.3 钢筋、预应力束安装

箱梁钢筋、纵向、横向、竖向预应力束、齿块钢筋等数量较多，普通钢筋和预应力束位置冲突的情况，如预应力管道位置与普通钢筋相碰，适当挪动普通钢筋，保证纵向预应力管道位置正确，不得切断钢筋。

钢筋安装优先级：纵向预应力束>竖向预应力束>横向预应力束>主筋>普通钢筋。

先安装箱室底板钢筋，底板钢筋完成后，安装腹板钢筋和竖向预应力钢筋，底板内设置齿块钢筋的，严格按照设计尺寸和位置，安装齿块钢筋，钢筋安装的过程中，同步接长预应力管道，管道接头位置利用大尺寸波纹管包裹，避免接缝处漏浆。预应力孔道严格按照设计位置安装，并设置防崩和定位钢筋。

纵向接长的腹板钢筋采用双面焊接长，焊缝 5d。腹板勾筋将箍筋、纵向钢筋交叉箍筋外侧勾牢，顶板勾筋将

横、纵钢筋交叉处的横向钢筋外侧。顶板钢筋在内模安装固定后安装。

3.2.4 内模安装

内模采用钢模板，内模采用钢模板，模板根据腹板、底板尺寸变化进行调整。

挂篮行走到位，底板钢筋安装完成合格后，将挂篮内模从箱室内拖至节段内，如内模尺寸需变小的，提前调节模板内侧横梁长度，适配内模尺寸。

内模安装固定后，从箱室内穿入模板拉杆，另一端在模板外拧紧拉杆螺母。拉杆间距控制在 $1\text{m} \times 1\text{m}$ ，拉杆 $\phi 20$ 精轧螺纹钢

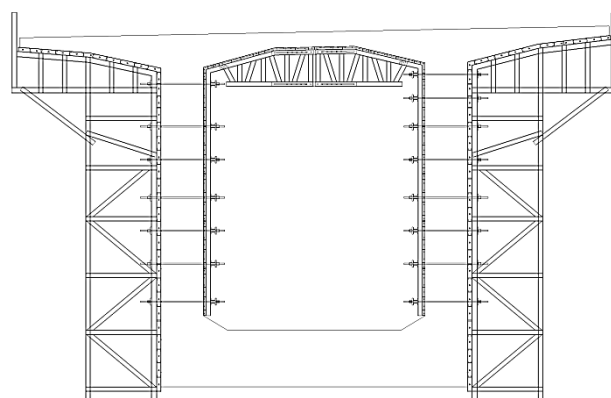


图9 内模布置图

3.2.5 挂篮行走

(1) 轨道安装接长。前段箱梁顶面上轨道加长侧放挂篮前移轨道位置，并抄平垫实，铺设钢枕、轨道。同时用箱梁的竖向精扎螺纹钢、通过轨道锚固垫片锚固轨道，安装牵引千斤顶系统。

(2) 下放模板。同步下放后吊杆，使后横梁下放 10~15 cm，再同步下放前吊杆，使底模模与已浇筑梁底平行，拆除挂在箱梁上的后吊杆。内模同样下放 10~15 cm，模板与梁体就完全脱离。

(3) 挂篮行走。挂篮前移前，检查反扣轮销轴是否连接紧密并转动自如，以保证反扣轮垂直受力，涂黄油，减小摩擦，并安装防倾覆反压梁。放松后锚杆，使反扣轮扣住轨道，检查各反扣轮扣住轨道，反扣轮受力，挂篮前倾力作用在行走轨道上。反扣轮两侧必须同时反扣轨道受力，不得单侧受力。利用千斤顶同步顶推，使挂篮主桁架、底托系统、侧模系统同步前移。前移速度控制 5~10cm/min，平稳移动，左右同步，偏差不得大于 5cm。

(4) 挂篮锚固就位

前移到位后，安装后锚。单端挂篮后锚为 12 根直径 32mm 精轧螺纹钢，后锚连接器必须分中连接旋紧，后锚横梁适当根据精轧螺纹钢位置调整，使精轧螺纹钢居中放置，顶部设置垫板、双螺母。使用 32 吨机械顶，对称施加紧固力。穿入后下横梁锚固吊杆，移动内外滑梁盒子，

在梁面锚固。

3.3 合龙段施工

边跨合龙时,需将挂篮底模长度修改为匹配合龙段长度。边跨和中跨挂篮同步前移锚固,将前吊带通过边跨现浇段预留孔伸入梁底,形成底模吊带系统。将底模长度改为 2.2m。拆除内模系统,挂篮前段伸入现浇段底模下的部分,拆除边跨现浇盘扣支架。挂篮改装过程中,两端同步进行。

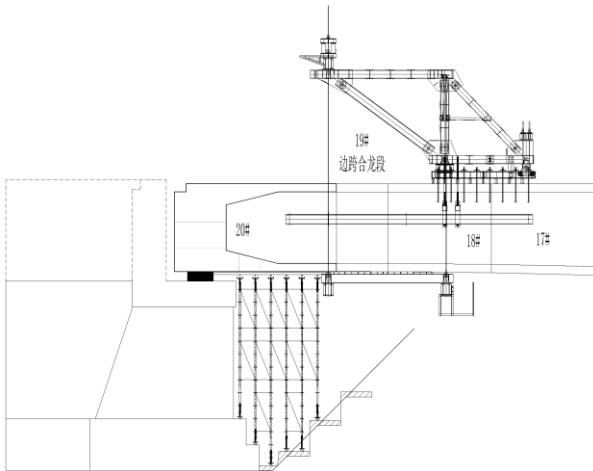


图 10 边跨合龙挂篮位置图

边跨合龙后,中跨采用改装调整,利用两侧挂篮合龙施工。

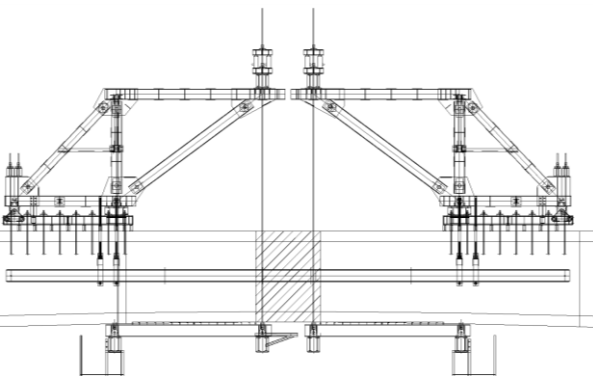


图 11 中跨合龙挂篮布置图

两端挂篮调整就位后,两端同步安装水箱、注水,调平现浇段和最后悬臂段底板高程。刚性支撑为双拼的 40 槽钢和钢板组成的刚性支承梁。刚性支承梁长 3.3m,两根槽钢通过 20cm×3300cm 的 10mm 厚钢板焊接成为整体,焊接完成后,刚性支撑梁断面尺寸 250mm×420mm×3300mm。刚性支承梁 420mm 面朝下,放置在预埋件轴线位置,刚性支承梁与预埋件环缝焊接。配重水箱布置在挂

篮桁架之间,两端水箱位置对称设置。合龙段钢筋、预应力筋安装现浇段相同。

3.4 施工监控

严格控制主梁施工临时荷载,施工材料堆放要求定点、定量,堆放在 0 号梁段附近测量要求。测量工作由施工单位和监控单位平行进行,以便于在现场及时校对,同时由监理单位进行复核。在施工监测时,各工况下线形监测应避免日照温差的影响,在温度相对稳定时间段进行,所有施工监测记录须注明工况(施工状态)、日期、时间、天气、气温、风力、风向、桥面特殊施工荷载和其他突变因素。主梁挂篮立模和预应力张拉前后的测试工作必须回避日照温差的影响。

4 结语

山区双肢薄壁空心墩 145 m 跨连续刚构桥不同施工条件选用适合的施工方法和工艺。用科学的装备、适合的工艺实施,保证施工的质量、安全、进度,最大限度地实现设计目标和工程目标。本文介绍的施工技术,在不同跨度的悬臂梁施工都可借鉴,为同类型桥梁施工提供参考案例。

【参考文献】

- [1]石岩,焦应乾,李军,等.考虑墩-梁碰撞效应的大跨高墩连续刚构桥近断层地震损伤分析[J].应用基础与工程科学学报,2024,32(4):1140-1153.
 - [2]赵灿晖,杨正浩,袁小聪,等.高桩承台连续刚构桥的调谐隔震设计方法[J].中国公路学报,2024,37(7):137-146.
 - [3]邓开来,吴光源,远全闯,等.高铁大跨双肢墩连续刚构桥减震系梁地震易损性分析[J].桥梁建设,2024,54(3):61-69.
 - [4]王瑾,许维炳,杜修力,等.现浇及装配式超高墩连续刚构桥碰撞响应及其影响试验[J].中国公路学报,2024,37(9):68-82.
 - [5]黄佳栋,谭平,张云,等.耐震时程法在大跨连续刚构桥纵向抗震性能评估中的应用[J].振动工程学报,2024,37(2):306-317.
 - [6]叶爱军.波形钢腹板箱梁高墩连续刚构桥抗震性能研究[J].桥梁建设,2023,53(5):104-110.
 - [7]郑国足,焦应乾,石岩,等.考虑墩-梁碰撞效应的连续刚构桥系统易损性与概率地震风险性分析[J].工程科学与技术,2024,56(3):147-159.
- 作者简介:王方旭(1987—),男,工程师,主要从事山区高速公路建设施工技术方面的研究。