

预应力混凝土连续刚构桥主梁施工技术

罗 昆 刘 凯 黄潇衡

中建三局第三建设工程有限责任公司 湖北 武汉 430000

摘要: 预应力混凝土连续刚构桥主梁施工, 主要为分为0#块施工、挂篮悬臂浇筑施工、边跨现浇段施工及中边跨合龙段施工, 在0#块施工, 使用了经过改进的装配式托架、主梁一般梁段施工采用菱形挂篮悬臂浇筑, 边跨现浇段采用支架现浇。本文通过对预应力混凝土连续刚构桥主梁施工工艺及现场实施、运用新技术情况两个方面进行论述。

关键词: 连续刚构桥施工、预应力、混凝土悬臂浇筑、0#块施工

Construction technology of main beam of prestressed concrete continuous rigid frame bridge

Kun Luo, Kai Liu, Xiaoheng Huang

The Third Construction Engineering Co., LTD., Hubei Wuhan, 430000

Abstract: Prestressed concrete continuous rigid bridge girder construction, mainly divided into 0 # block construction, hanging basket casting construction, across the cast-in-place section construction and across the dragon section, in 0 # block construction, using the improved prefabricated bracket, main girder section construction with diamond hanging basket casting, across the cast-in-place section using the cast-in-place, support. This paper discusses the construction technology of the main beam and the application of the new technology of the prestressed concrete continuous rigid frame bridge.

Keywords: Continuous rigid frame bridge construction; Prestress; Concrete cantilever pouring; 0 # block construction

引言:

随着国家公路、铁路等持续发展, 交通网络向经济欠发达、交通欠发展的地区延伸, 适应地势起伏变化不大、跨越中小型河流, 建设周期短、运营成本低, 技术相对成熟的连续刚构桥会陆续成为后续交通线上常见的桥跨形式。预应力混凝土连续刚构桥主梁施工技术相对成熟, 主要为分为0#块施工、挂篮悬臂浇筑施工、边跨现浇段施工及中边跨合龙段施工。

一、工程概况

本文依托湖北省黄冈市黄梅县黄梅高铁站集疏运 G105 改建工程(下文简称黄梅 G105 项目)县河六桥施工陈述。黄梅 G105 项目县河六桥主梁为(66+120+66)m 三跨连续刚构体系, 主墩为双肢薄壁墩, 墩高 13.2~15.76m, 墩梁固结。主梁 0#块长 12 米, 中、边跨各 15 个节段, 边跨现浇段 4.78m, 中、边跨合龙段均长 2m; 其中 1~7#块长度 3 米, 8~15#块长度 4 米。单幅箱梁顶板宽 12.75m, 底板宽 6.5m; 跨中梁高 3m, 支点梁高 7.3m, 悬浇部分梁高按照 1.8 次抛物线规律变化。

主梁采用三向预应力混凝土结构, 设纵向、横向、竖向预应力, 纵向预应力采用 15As15.2、17As15.2 及 19As15.2 高强度低松弛钢绞线, 群锚锚固体系; 顶板横向预应力采用 As15.2-3

钢绞线, 扁锚锚固体系; 竖向预应力筋采用直径 32mm 精轧螺纹钢, 二次张拉工艺。

二、施工流程(详图 1)

三、施工工艺

1.0#块托架安装

托架体系由预埋系统、承载系统、分布系统三大部分构成。左、右幅托架相同。承载系统采用三角托架锚固于墩身之上, 三角托架横杆及斜杆采用双拼 I 40a 型钢, 各传力连接节点采用销轴连接, 销轴直径 100mm, 单个 0#块共 10 片三角托架, 正面的托架上每片设置两个沙箱, 用于调节标高, 及方便卸落, 侧面牛腿不设沙箱。分布系统主分配梁采用双拼 I 45a 型钢, 悬臂段次分配系统采用双拼[18 焊接成桁架, 具备调节底板线形作用。双肢薄壁墩间次分配梁采用 I 40a 型钢, 翼缘板下次分配梁采用双拼 I 40a 型钢。

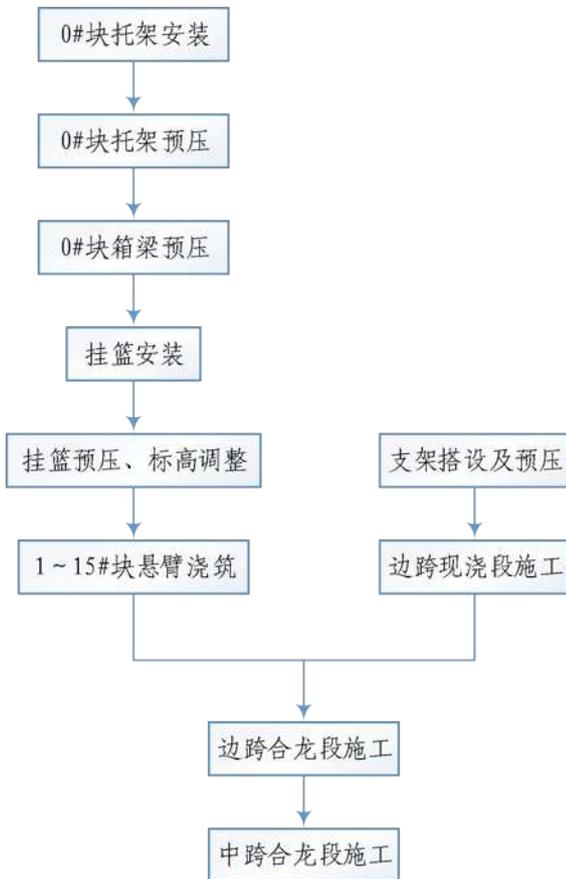


图 1 主梁施工流程图

2.0#块托架预压

支架预压根据箱梁宽度、预压材料的取用便利性和计量可靠性进行选择，拟采用大型水袋、砂袋、成捆钢筋进行预压。支架预压荷载按照一次性浇筑荷载进行配重。

黄梅 G105 项目配重材料选用大型水袋、砂袋、成捆钢筋进行配重。砂的密度取 $1.6\text{t}/\text{m}^3$ ，单袋砂的质量取 1.6 吨，钢筋的密度为 $7.85\text{t}/\text{m}^3$ ，单捆钢筋质量 3 吨，大型水袋尺寸宽 \times 长 \times 高=10 \times 5 \times 3 米，装水时单个水袋装水 30 方，共挂 13 个，水源为县河河水，装水计量：当水泵出水口流量稳定时开始装水，控制装水时间，达到控制水袋装水水量的效果；卸载时利用虹吸管卸载——即将软质水管装满水，一头放入水袋底部，一头放入河流，自然排水。

3.0#块箱梁施工

模板工程：黄梅 G105 项目连续梁 0#块纵向总长为 12m，外侧模和翼缘板采用挂篮厂加工钢模板，箱梁内模采用木模，内模支架采用承插盘扣式脚手架，顶板、底板、腹板的封端模板采用钢板根据钢筋位置开槽设置，底模采用钢模板，底模分配梁上铺设顺桥向 100mm \times 100mm 方木，木方中心间距 0.2m，净距为 0.1m；方木与底模分配梁之间采用铁丝进行限位，底板和腹板封端模板采用 6mm 厚钢板，施工时采用拉杆或对拉钢

筋进行固定，顶板由于锚盒较多，且厚度较小，采用木模板。

预应力工程：黄梅 G105 项目预应力为横、纵、竖三向预应力，其中横向与竖向预应力采用的是直径 32mm 精轧螺纹钢作为预应力筋、纵向预应力筋为 ϕ s15.2-3 钢绞线；

混凝土工程：箱梁混凝土标号为 C55,0#块混凝土中掺加聚丙烯纤维，每立方米混凝土掺量为 0.9kg。0#块箱梁高度为 7.3m，混凝土采用一次浇筑完成，浇筑过程在各个部位均有管理人员监督，保证混凝土浇筑振捣质量；箱梁施工和浇筑过程中悬臂端两端不平衡重量需要控制在 24t 以内，即 10 方量以内；浇筑底板时，由于混凝土掺加了聚丙烯，宜适当增加流动性，现场浇筑混凝土坍落度控制在 190-200mm；在底板浇筑完成后应暂停浇筑一段时间，使底板混凝土流动性减小后再浇筑腹板，避免腹板混凝土因重力下陷将底板混凝土挤出；最后浇筑顶板混凝土，顶板混凝土横桥向由翼缘板悬臂端低标高侧向高标高侧进行浇筑，纵向浇筑宽度不超过 50cm，混凝土流动性不宜过大，现场混凝土坍落度按 165-170mm 控制。

4.挂篮安装

黄梅 G105 项目采用的是桁架式菱形挂篮，主要由主桁承重系统、悬吊系统、锚固系统、行走系统、模板系统等部分组成。挂篮安装顺序为：滑轨安装 \rightarrow 主桁架、横联、连杆安装 \rightarrow 前横梁和底篮系统安装 \rightarrow 底模、底篮和底篮作业平台安装 \rightarrow 侧模安装 \rightarrow 标高调整。

挂篮滑轨通过接长竖向预应力精轧螺纹钢锚固，前横梁通过吊带悬吊前托梁；吊带、主桁架、横联等构件主要通过销轴连接。

5.挂篮预压、标高调整

挂篮安装后再次做全面检查，并用全站仪测设，拨正挂篮中线位置，挂篮偏差不得大于挂篮允许误差；用水准仪抄平，用吊杆调整标高，标高调整时注意预拱度设置，具体数据由监控单位依据预压数据计算得出。同时采用 6 个前支点主顶顶紧前支点位置，前支点两侧采用垫块抄垫密实，避免轨道受力过大。

挂篮拼装完毕后，对挂篮进行预压，充分消除挂篮非弹性变形，对挂篮的强度、刚度和稳定性进行评价，验证挂篮的安全性，并获取挂篮在荷载作用下的变形数据和规律，以便准确设置预抬值，保证梁体线形。挂篮预压试验在挂篮安装调试完毕，2#梁段施工之前进行。挂篮预压加载按 50% \rightarrow 80% \rightarrow 100% \rightarrow 120% \rightarrow 卸载分级进行。挂篮预压采用水袋吊重进行预压，吊袋设置于前托梁吊带附近。挂篮监测点每个断面 5 个监测点（两侧翼缘板对应位置和底板左中右三个位置），主要布置断面为前横梁上、前横梁正下方前托梁上、挂篮底模板中间截面位置，共计 15 个监测点。

6.1~15#块悬臂浇筑

当 0#块混凝土浇筑、张拉、压浆完毕,清理箱梁内侧及桥面后,即可从梁段中心向两侧对称安装两套施工挂篮;

挂篮行走流程:前一段浇筑、张拉及压浆完毕→脱模→移动轨道→锚固转换(行走小车受力)→挂篮整体检查→挂篮行走→锚固转换(主梁后锚杆受力)→安装锚固→调整模板位置及标高;

当前梁段预应力张拉、压浆完成后,方可进行挂篮移动,挂篮行走用穿心千斤顶推动主桁前移时,所有主桁架必须同时前进,保证主桁行走方向,行走过程中,移动匀速、平移、同步,采取划线吊垂球或全站仪定线的方法,随时掌握行走过程中挂篮中线与箱梁轴线的偏差,如有偏差,使用千斤顶逐渐纠正。箱梁混凝土浇筑过程中悬臂端两端不平衡重量需要控制在 25t 以内,即箱梁大小里程浇筑混凝土差量不超过 10m³,混凝土浇筑中,轨道前支点位置应用前支点主顶顶起,避免轨道受力。

7.支架搭设及预压

直线段现浇支架采用满堂盘扣架体+H18 型钢+100×100mm 木方+18mm 胶合板体系。黄梅 G105 项目东岸箱梁底板下满堂架体高度 2.4 米,西岸箱梁底板下满堂架体高度 7 米,架体最大高宽比 0.667,小于 3;侧模采用挂篮钢侧模,便于调节翼缘板下线性。横桥向底板下立杆间距 60、90cm,纵向间距 60、90cm;

边跨合龙段施工也采用满堂架体进行浇筑,由于挂篮施工底模板需外伸,边跨合龙段架体在边跨直线段施工时不同步搭设,但基础同步进行处理,边跨合龙段断面为边跨直线段断面中最小荷载最小的,可用边跨直线段预压的数据代替合龙段预压的结果。合龙段不再进行单独预压。由于端横梁重量落在交接墩顶上,混凝土浇筑时,不由满堂支架承重,预压时不考虑此部分的重量;预压采用钢筋、钢绞线作为压重材料,预压加载按 60%→80%→100%加载,各个加载预压阶段分别做好观测记录。

8.边跨现浇段施工

边跨现浇段侧模用 0#块加工的模板进行改制,以便于调节翼缘板的线性。为了施工方便,边跨现浇段底模采用木模板,盘扣架体体系,内模支撑体系采用钢管脚手架,底板、腹板的封端模板采用木模板。边跨现浇段支座采用盆式支座,支座下座板通过地脚螺栓固定于支座垫石顶面,上顶板通过跳跃式焊接法与箱梁预埋钢板连接。单幅单个边跨现浇段纵向预应力钢束共 14 束,腹板合龙束采用 ϕ s15.2-15 钢绞线共 10 束,顶板合龙束采用 ϕ s15.2-17 钢绞线共 4 束,为箱内装齿块单端张拉,对应塑料波纹管径为 Φ 内 90mm,在悬浇段 17' #梁段施工前进行纵向预应力的穿束,然后浇筑边跨箱梁混凝土。浇筑混

凝土时,纵桥向自标高较低处向标高较高处浇筑,横桥向自横坡较低处向横坡较高处浇筑。

9.边跨合龙段施工

边跨合龙段采用满堂支架现浇,无需施加换重荷载,只考虑 T 构两侧不均匀荷载配重,主要由挂篮位置不对称而产生,合龙施工具体施工步骤如下所示:

测定合龙口标高→装合龙段满堂架底模、侧模→底模和外侧模调整→底、腹板钢筋和预应力安装→提前将合龙段劲性骨架放入预定位置一端锁定,解除支座约束→在一天中气温最低时锁定劲性骨架(00:00-05:00 点)→内模支架和内模板安装→顶板钢筋及预应力安装→浇筑边跨合龙段混凝土(无换重荷载)→当砼强度达 90%且龄期达到 7 天以上时张拉边跨合龙束→拆除边跨合龙段的劲性骨架结构→然后张拉所有横向预应力小束→张拉所有竖向预应力精轧螺纹钢→拆除边跨现浇支架(使过渡墩处支座受力)→拆除所有边跨挂篮。

10.中跨合龙段施工

其中一只中跨挂篮后退后进行拆除→挂篮已拆除侧适当压重调整合龙口标高到位→另一只挂篮前进至中跨合龙段位置锚固(利用挂篮改装吊架进行中跨合龙段施工)→底模和外侧模调整→底、腹板钢筋和预应力安装(腹板钢筋绑扎时预留合龙顶推千斤顶位置钢筋方便千斤顶安装)→提前将合龙段劲性骨架放入内箱一端锁定→内模支架和内模板安装(同步将合龙口顶推千斤顶固定在对应位置)→顶板钢筋及预应力安装→顶板劲性骨架一端锁定→中跨设置水箱换重,换重为中跨合龙段重量的一半→温度最低时刻在合龙口两端施加顶推力,顶推力合力为 2000kN→在规定温度和一定时间内完成中跨合龙段劲性骨架的焊接→拆除顶推千斤顶→补充完善千斤顶位置钢筋和模板→浇筑中跨合龙段混凝土,边浇筑边同步放水→当砼强度达 90%且龄期达到 7 天以上时张拉中跨合龙束→然后张拉所有横向预应力小束→最后张拉所有竖向预应力精轧螺纹钢并压浆封锚→拆除中跨合龙段的劲性骨架→拆除所有挂篮。

四、主梁施工新技术运用

1.0#块可周转托架

连续梁或连续刚构桥施工 0#块的做法通常有两种,一种是在墩旁搭设支架施工,形式一般有满堂盘扣支架、钢管立柱支架等;另一种为墩上搭设支架施工,如托架施工;各类支架均有各自的优缺点,施工过程中应根据实际情况进行选择。

由我司所承建的黄梅 G105 项目连续刚构桥,由于桥址位于河道当中,主墩位于河床两侧,受季节性水位变化影响,桥墩有被河水浸泡风险,通过内部讨论、技术攻关最终确定连续刚构桥 0#块采用墩上托架法进行施工,并对传统托架结构进行优化。传统托架结构与预埋件连接及受力节点连接均采用焊接连接的方式,存在高空立焊,焊接质量难以保证、高空作业安

全难以保障、受力破坏突然等不利条件；经优化后，托架各节点连接均采用销轴连接，预埋件连接采用精轧螺纹钢对拉固定，各构件均在工厂加工成型，现场只需拼装，降低高空作业风险，结构受力更加可控，使其成为可周转使用、方便拆装的承力结构，贴合现场施工条件，并解决了施工的技术难题。

确定 0#块采用墩上托架进行施工后，对托架的强度、刚度、稳定性进行验算，确定牛腿、梁底横梁、纵向分配梁、砂箱等所采用的材料规格、尺寸、布置形式。在进行下部结构施工的时候，按照 0#块施工要求在对应的墩身位置提前预埋钢板、预埋孔等预埋件，为后续 0#块施工作准备。可周转三角托架主要作为 0#块底模的铺设平台，在 0#块施工过程中，将荷载传递至墩身及下部基础。

优点：适用范围广，托架强度、刚度大，不受环境及汛期影响，支撑简单方便，具有可靠的结构稳定性和作业方便性；可周转三角托架不仅具备传统托架的优势，还可以在墩身上直接拆除再利用，材料损耗小，经济、实用，整个施工过程生态环保；可周转三角托架各构件在工厂加工成型，到现场后直接拼装，可极大的缩短现场施工工期，提高施工效率，显著提升工人作业安全性；预埋件主要受力构件为精轧螺纹钢、锚固盒子，构件小，承载能力大，预埋后对墩柱主筋影响较小，避免对墩柱主筋的切割，保障墩柱结构受力稳定。

2.整束预应力穿索施工

3.边跨合龙段组合支架施工

4.竖向预应力张拉装置

在公路工程与铁路工程中经常会见到桥梁设计有竖向预应力的情况，尤其是在变截面桥梁中，部分梁段桥梁底板距离桥面高度较高，必须设置竖向预应力使桥梁腹板不产生裂缝，

保证结构安全。

黄梅 G105 项目连续刚构桥竖向采用直径 32mm 的精轧螺纹钢作为竖向预应力筋，在竖向预应力张拉过程中，为保证张拉过程安全可控，保护混凝土桥面不受张拉千斤顶的挤压破坏，施工中采用了一种竖向预应力张拉装置。本装置主要是利用钢板切割焊接成一种外表看似棱台，侧面由 4 块切割钢板焊接形成 4 个支腿，顶面为一块留有圆孔的钢板，顶面与侧面焊接固定，在施工过程中通过精轧螺纹钢接长套筒将桥面预应力筋接长，然后通过顶板圆孔与张拉千斤顶连接，张拉千斤顶通过压力固定在顶板上对竖向预应力张拉。

优点：张拉过程中千斤顶并未与桥面接触，过程更加安全可控、张拉装置移动方便，工作效率提高、装置拼装需要的材料主要是施工中一些废弃的材料，达到了废材利用的效果。

五、结论

本项目预应力混凝土连续刚构桥主梁施工整体平顺，工期可控。主梁外观，线型等良好，施工技术可复制性强，可以推广应用。

参考文献：

[1] 徐玉梁,王力武.某连续刚构桥菱形挂篮主桁架结构优化及受力性能分析[J].广东土木与建筑,2022,29(2):83-85,89.

[2] 李云虎,姚鹏飞.连续刚构桥中跨合龙顶推力的计算与分析[J].工程与建设,2022,36(1):223-225,243.

[3] 郭增社,刘世雄,王福来,等.高墩大跨径连续刚构桥梁中跨合龙施工技术研究[J].建筑技术,2022,53(3):339-342.

[4] 刁先觉,刘怀刚.某预应力混凝土连续刚构桥主梁关键施工技术[J].建筑机械,2022(1):123-126.