

跨线桥现浇箱梁施工中组合支架的应用

徐明利, 张满江

(中国建筑第七工程局有限公司, 河南 郑州 450000)

摘要:在城市跨线桥现浇箱梁施工中,传统满堂支架体系易导致上跨道路通行中断,因此亟须一种兼顾施工安全与交通疏导的技术方案。以襄阳楚山大道跨线桥为例,采用“钢管柱+型钢+盘扣式钢管”组合支架体系,通过设置通行门洞、进行支架受力验算及施工过程管控,构建施工与交通并行的技术路径。结果表明:经过结构优化与全过程控制,该组合支架体系不仅满足了现浇箱梁施工的安全性要求,还保障了道路的正常通行。本文成果可为同类工程在交通密集区域施工提供可借鉴的技术范式。

关键词:现浇箱梁; 城市跨线桥; 组合支架; 交通保通; 受力分析

中图分类号: TU997

文献标志码: A

文章编号: 1673-8993(2025)08-0076-06

doi:10.13402/j.gcjs.2025.08.105

Application of combined brackets in cast-in-place box girder construction of overpass bridges

XU Mingli, ZHANG Manjiang

(China Construction Seventh Engineering Division Co., Ltd., Zhengzhou 450000, Henan China)

Abstract: In the construction of cast-in-place box girders of urban overpass bridges, the traditional full hall bracket system is easy to lead to the interruption of the upper span road, so a technical solution that takes into account construction safety and traffic diversion is urgently needed. Taking the Chushan Avenue cross-line bridge in Xiangyang as an example, the combined bracket system of “steel pipe column + section steel + coiled steel pipe” is adopted, and a technical path of parallel construction and traffic by setting up a passage door opening are constructed, and bracket force calculation and construction process control are proposed. The results show that after structural optimization and whole process control, the combined bracket system not only meets the safety requirements of cast-in-place box girder construction, but also ensures the normal passage of the road. The results can provide a technical paradigm for the construction of similar projects in traffic-dense areas.

Key words: cast-in-place box girder; urban overpass bridge; combination support; transportation guarantee; force analysis

随着城市化进程的加快,城市跨线桥建设需兼顾施工安全与既有道路的通行需求,如何通过支架体系的创新实现“施工-交通”协同成为关键课题。田黎明^[1]研究了碗扣型多功能脚手架在城市高桥连续箱梁施工中的应用,针对上跨机动车道和人行道路段,提出了梁式支架与碗扣型满堂支架相结合的方案,但该方案对支架的通行功

能改善有限;张东山等^[2]针对地势陡峭、占用便道等不利条件,采用钢管贝雷+碗扣组合支架现浇法施工,但其设计未充分考虑城市主干道大流量通行的需求;张宇等^[3]研究了现浇箱梁大跨度门洞结构的应用,但其门洞设计的通用性和安全性仍有待进一步验证。前人虽对支架施工技术进行了探索,但在城市主干道大流量通行条件下的

收稿日期: 2024-03-13

作者简介: 徐明利(1990—),男,助理工程师,从事市政工程、公路与桥梁工程方面工作。

支架设计优化和施工过程精细化控制方面仍存在不足。本文基于楚山大道跨线桥的实际需求,创新性地融合钢管柱门洞与盘扣式支架技术,提出钢管柱+型钢+盘扣式钢管组合支架工艺。通过优化支架结构设计、严格的荷载验算以及施工过程动态监控,解决传统工艺通行能力不足、安全性欠佳的问题,以期为城市复杂交通环境下的桥梁施工提供新思路。

1 工程概况及支模架结构布置

楚山大道跨线桥位于襄阳市东津新区,西接襄阳市东西轴线汉江沉管隧道出口路基,上跨楚山大道。楚山大道跨线桥概况如图1所示。桥梁全长222 m,跨径布置为 $(2 \times 35 + 40 + 35) + (2 \times 35) = 215$ m,采用等截面预应力连续梁设计。连续梁梁高为2.0 m,分两幅布置,单幅采用单箱双室结构,箱梁宽度为12.34 m,顶底板平行布置,箱梁底宽为5.7 m,悬臂长为1.77 m。

楚山大道跨线桥的预应力现浇箱梁采用分联整体浇筑工艺,共分为两联:U01联跨径布置为 $(2 \times 35 + 40 + 35)$ m,U02联跨径布置为 (2×35) m。其中,U01联第三跨上跨楚山大道,跨径为40 m。现场施工需满足楚山大道车辆正常通行的要求,因此在U01联第三跨设门洞,采用“钢管柱+型钢+盘扣式钢管”组合支架;除门洞部分外,其余区域均采用满堂盘扣支架。

2 “钢管柱+型钢+盘扣式钢管”组合支架结构设计

2.1 钢管柱+型钢结构设计

门洞横断面长度为30 m,纵断面长度为11.4 m,设置两个宽度为5.7 m的通道,通道净空高度为5 m。

门洞钢管立柱横向间距为2.5 m(共11根),纵向间距为5.7 m(共两排)。钢管立柱基础采用尺寸为 $0.8 \text{ m} \times 0.8 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ 的C20混凝土条形基础,立柱为 $\text{Ø}60 \text{ cm} \times 0.8 \text{ cm}$ 的钢管柱。立柱上方搭设双拼工字钢,型号为63 a,63 a工字钢上方搭设56 a工字钢,并在工56 a工字钢之间铺设竹胶板,以防止坠物打击。工56 a工字钢的横向间距布置: $2 \times 1.2 \text{ m} + 4 \times 0.6 \text{ m} + 2 \times 0.9 \text{ m} + 0.6 \text{ m} + 2 \times 0.9 \text{ m} + 4 \times 0.6 \text{ m} + 3 \times 1.2 \text{ m} + 4 \times 0.6 \text{ m} + 2 \times 0.9 \text{ m} + 0.6 \text{ m} + 2 \times 0.9 \text{ m} + 4 \times 0.6 \text{ m} + 2 \times 1.2 \text{ m}$ 。钢管柱+型钢结构设计如图2所示。

2.2 盘扣支架结构设计

U01联第三跨现浇箱梁共有3种不同的横断面,分别为中横梁实心面、变截面和标准截面,门洞位置处于箱梁标准截面处。支架底托设置在工56 a工字钢之上,立杆的横向间距布置: $2 \times 1.2 \text{ m} + 4 \times 0.6 \text{ m} + 2 \times 0.9 \text{ m} + 0.6 \text{ m} + 2 \times 0.9 \text{ m} + 4 \times 0.6 \text{ m} + 3 \times 1.2 \text{ m} + 4 \times 0.6 \text{ m} + 2 \times 0.9 \text{ m} + 0.6 \text{ m} + 2 \times 0.9 \text{ m} + 4 \times 0.6 \text{ m} + 2 \times 1.2 \text{ m}$,纵向间距为1.2 m。支架材料采用 $\text{Ø}60 \text{ mm} \times 3.2 \text{ mm}$ 的Q345B低合金钢管。支架顶托铺设14号工字钢主梁,沿箱梁底模纵向铺设;14号工字钢上方铺设 $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ 方木,间距为25 cm;方木之上铺设15 mm厚竹胶板作为箱梁底模。标准截面支架布置如图3所示。

2.3 防护措施及保通措施

为方便作业,支架整体宽度沿主桥两侧各超出1 m,作为人行通道。通道外沿用 $\text{Ø}48 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$ 钢管搭设护栏,护栏高度为1.2 m,由上、中、下3根钢管组成,钢管间距分别为30、45、45 cm。钢管外挂绿幕网,并用铁丝绑扎固定;人行道底部铺木板作为走道,走道下设置水平安全网以防止坠物。

门洞前30 m处设置减速带,减速带后10 m

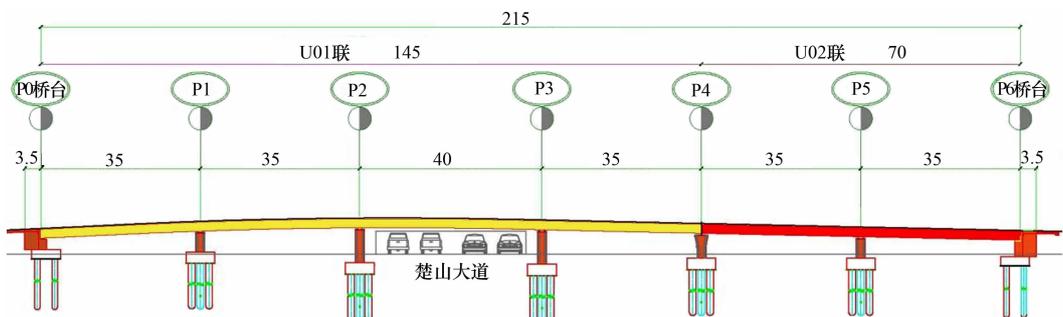


图1 楚山大道跨线桥概况

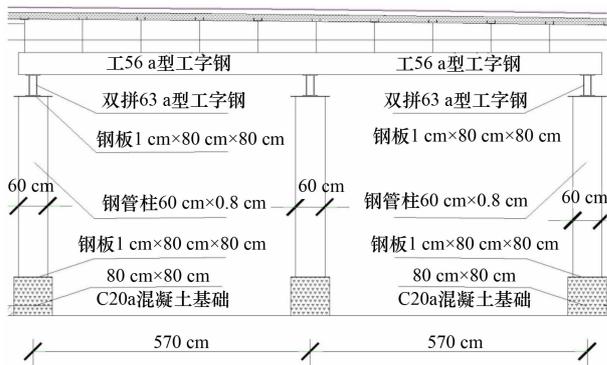


图 2 钢管桩 + 型钢结构设计

处设置限高 5 m 的限高门架。为防止坠落物，在现浇梁支架底板加铺防落物密目网。门洞左右通道之间采用水码隔开，门洞基础前摆放双层防撞沙桶。门洞基础外表及门洞钢管立柱刷黑黄条纹警示标识。

3 组合支架验算

3.1 荷载类别及荷载标准值

依据《建筑施工承插型盘扣式钢管脚手架安全技术标准》(JGJ/T231—2021)要求，作用于支架上的荷载分为永久荷载和可变荷载。其中，永久荷载包括：新浇筑混凝土及钢筋自重标准值 G_{1k} ，取值为 26 kN/m^3 ；作用于支撑架上的荷载 G_{2k} (模板、小楞等构件自重)，取值为 0.5 kN/m^2 ；支架杆系自重标准值 G_{3k} ，取值为 0.15 kN/m ；其他可能产生的荷载标准值(如雪荷载等) G_{4k} ，取值为 1 kN/m^2 。

可变荷载应包括：施工荷载 Q_{1k} (包括支撑架顶部模板上施工作业人员、施工设备以及超过构件浇筑厚度的混凝土堆放荷载)，取值为 3 kN/m^2 ；附

加水平荷载 Q_{2k} (泵送、倾倒入混凝土等因素产生的水平荷载)，取值为 2 kN/m^2 ；其他附加水平荷载标准值 Q_{3k} ，取值为 2 kN/m ；风荷载为 0.058 。

3.2 荷载分项系数

在计算架体构件的强度、稳定性和节点连接强度时，荷载设计值应采用荷载标准值乘以荷载分项系数，荷载分项系数如表 1 所示^[4]。结构重要性系数取值为 1.1，可变荷载调整系数取值为 1.1。

表 1 荷载分项系数

验算项目	永久荷载	可变荷载
强度、稳定性计算	1.3	1.5
地基承载力计算	1.0	1.0
挠度计算	1.0	1.0
抵抗力矩计算	0.9	0
倾覆力矩计算	1.3	1.5

3.3 架体结构验算

通过采用品茗建筑安全计算软件建立盘扣支架架材料模型，对箱梁底模、 $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ 木方和 14 号工字钢进行抗弯强度、抗剪强度及挠度变形的验算，并完成支架顶托、底托承载力容许值验算、立杆稳定性验算以及抗倾覆验算等。结果显示，所有支架构件满足要求。

门洞结构同样采用品茗安全计算软件建立门洞模型，其所受荷载来自上部盘扣支架立杆传递的竖向集中荷载。其中，位于箱梁腹板位置的 56 a 工字钢承受纵向间距为 1.2 m 、数值为 83.16 kN 的集中荷载；箱室位置的 56 a 工字钢承受纵向间距为 1.2 m 、数值为 62.91 kN 的集中荷载；翼缘板位置的 56 a 工字钢承受纵向间距为 1.2 m 、数值为

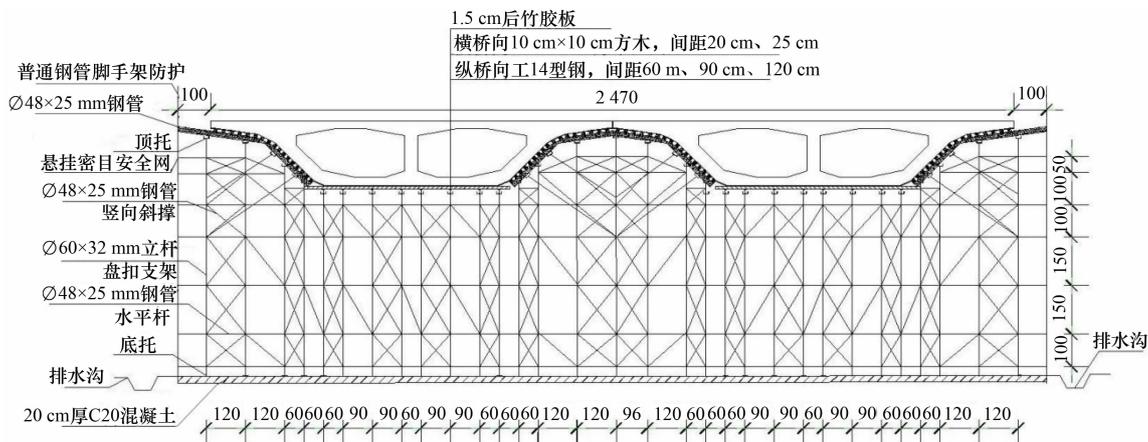


图 3 标准截面支架布置

39.865 kN的集中荷载。门洞共设有34条56 a工字钢纵梁,经计算显示,这些纵梁的抗弯强度、抗剪强度及挠度变形均满足要求。

通过56 a工字钢计算得出的支座反力即为63 a工字钢承受由纵梁传递的荷载。由于横向承重梁为两根合并使用,本文取单道横向承重梁进行计算。连续梁模型中的集中荷载取自各道纵梁传递至横向承重梁的集中力,并乘以横向承重梁受力不均匀系数。计算结果显示,63 a工字钢的抗弯验算、抗剪验算及挠度验算均满足要求。

通过63 a工字钢计算得出的支座反力可知,位于门洞中部的LC2横梁支座反力最大,因此传递给中间钢管立柱的荷载也最大。经计算,门洞中建立柱的长细比、强度及稳定性均满足要求。中间立柱传递给条形基础的荷载计算结果为1 825.992 kN。单根立柱对应的基础底面积 $A = \text{条形基础总长}(30 \text{ m}) \times \text{条形基础款}(0.8 \text{ m}) / 12 \text{ 根} = 2 \text{ m}^2/\text{根}$ 。由于条形基础坐落于已通车的沥青混凝土路面上,其地基承载力折减系数取1,沥青道路地基承载力设计值按1 500 kPa取值。地基承载力计算公式:

$$P = \frac{F}{m_f A} \quad (1)$$

式中: P 为立杆基础底面的平均压力标准值,单位; F 为型钢立柱传递给条形基础的最大轴向压力,kN,取1 825.992 kN; A 为基础底面积, m^2 ,取 2 m^2 ; m_f 为地基承载力折减系数,取1。

计算得知, $1\ 825.992 / (1 \times 2) = 912.996 \text{ kPa} \leq 1\ 500 \text{ kPa}$,满足要求。

4 组合支架施工

4.1 钢管桩+型钢施工

4.1.1 条形基础施工

门洞条形基础尺寸为 $30 \text{ m} \times 0.8 \text{ m} \times 0.8 \text{ m}$ (长 \times 宽 \times 高),采用C20钢筋混凝土现浇。条形基础纵向与楚山大道平行(共设置3条),中心间距为5.7 m。基础内钢筋由 $\varnothing 10 \text{ mm}$ 箍筋和 $\varnothing 12 \text{ mm}$ 通长筋组成的矩形钢筋笼组成,钢筋保护层厚度为4 cm。基础每隔5 m设置一段沉降缝,因此钢筋笼分6段设置,每段之间用1.5 cm厚木板隔开作为沉降缝。施工前,根据门洞平面布置图在AutoCAD软件中标

记出3条门洞基础各自4个角的坐标,并用全站仪精确定位后钉钉子做标记,然后拉线支模板。模板采用15 mm厚竹胶板,模板外侧用 $60 \text{ mm} \times 80 \text{ mm}$ 木方作为小梁,木方间距为30 cm。小梁外侧设置 $\varnothing 48 \text{ mm} \times 3.5 \text{ mm}$ 钢管主梁,主梁距模板下端10 cm、距模板上端10 cm,中间间距为60 cm。主梁外侧用M14螺旋拉杆固定,横向间距为1 m。条形基础内按钢管支墩位置准确预埋 $80 \text{ cm} \times 80 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ 的法兰盘和M32地脚螺栓,要求法兰盘顶平面必须水平,以确保安装钢管立柱时能保证其垂直度。

4.1.2 钢管立柱安装

钢管立柱型号为 $\varnothing 600 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$,高度为3.75 m。立柱底部满焊一块 $80 \text{ cm} \times 80 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ 的钢板,钢板上开设32 mm的螺栓孔,与预埋螺栓相对应。钢管立柱四周用4块1 cm厚的三角钢板满焊加固。钢管立柱采用25 t汽车吊进行吊装,与预埋在条形基础内的螺栓精准对接,安装时严格控制其垂直度。每排钢管支墩横向设置“X”字形斜拉撑连接,斜拉撑采用3.9 m长的槽钢,与钢管立柱焊接,以增强其整体性及稳定性,如图4所示。

4.1.3 63 a工字钢横梁安装

63 a双拼工字钢全长12 m。为增加其整体性,在吊装前,先用两根 $\varnothing 25 \text{ mm}$ 钢筋搭接在双拼工字钢底部并满焊,每条双拼工字钢在左、中、右3处进行焊接。吊装时,采用皮带牢牢捆住双拼工字钢两端,以防止吊装过程中滑落,经检查无误后方可起吊安装。横梁安装时,应将其中心对准钢管立柱的中心轴线,避免钢管立柱偏心受压,从而影响承载力。

4.1.4 56 a工字钢纵向分配梁安装

56 a工字钢纵向分配梁的横向间距需根据箱梁标准横断面立杆间距进行布置,即 $2 \times 1.2 \text{ m} + 4 \times 0.6 \text{ m} + 2 \times 0.9 \text{ m} + 0.6 \text{ m} + 2 \times 0.9 \text{ m} + 4 \times 0.6 \text{ m} + 3 \times 1.2 \text{ m} + 4 \times 0.6 \text{ m} + 2 \times 0.9 \text{ m} + 0.6 \text{ m} + 2 \times 0.9 \text{ m} + 4 \times 0.6 \text{ m} + 2 \times 1.2 \text{ m}$ 。吊装前,由测量人员精准放样纵向分配梁位置,并用双面胶在63 a横梁上做好标记。56 a工字钢纵梁安装时,应严格按横梁上标记好的位置进行安装(位置与箱梁标准横截面立杆间距一致)。每根纵梁槽钢两端用两根4号角钢斜撑于横梁上,以增加稳定性,如图5所示。

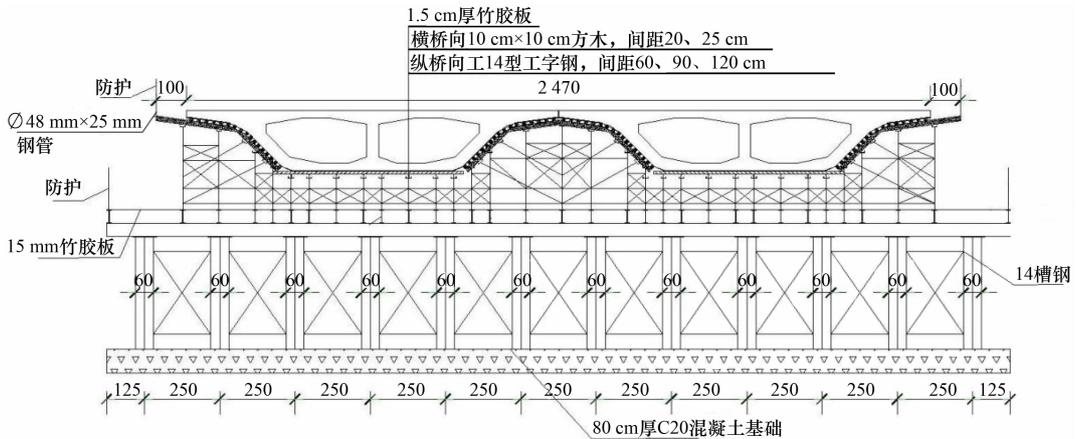


图 4 钢管立柱与基础连接形式

cm

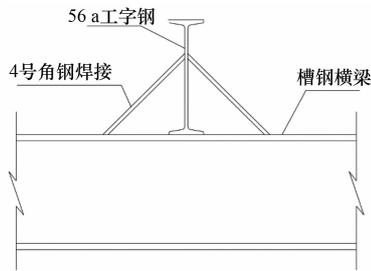


图 5 门洞纵向分配梁安装示意

4.2 盘扣支架施工

立杆的横向间距与 56 a 工字钢的间距一致，纵向间距由测量人员按 1.2 m 进行放样，并在 56 a 工字钢上做出标记。可调底座应准确放置在定点上，保持水平，根据中心线向两侧对称布置。

支架搭设前，技术人员需先计算支架顶托的高程数据。根据设计图中梁底结构中心线高程及箱梁横坡坡率，结合支架横断面立杆间距，计算出箱梁横断面左、中、右 3 点位置的梁底高程。然后用梁底高程减去模板、木方、主梁等的高度，即可得到立杆顶托的高程。然后拉细线复核，确认三点一线且高程无误后，将横断面各个顶托高程调整至细线高度，完成首个横断面顶托高程的调整。再以首个横断面顶托高程为起点，根据箱梁纵坡坡率以及支架立杆纵向间距，计算出纵向立杆顶托高程。支架搭设时，应按先立杆、后水平杆、再斜杆的顺序进行，以此扩展搭设成整体支架体系。立杆上端可调托座伸出顶层水平杆的长度不得超过 0.65 m，且丝杆外露长度严禁超过 400 mm，可调托座插入立杆的长度不得小于 150 mm^[4]。

托座调整后，铺设 14 号工字钢主梁。14 号

工字钢在箱梁底模纵向铺设，在翼缘板处横向铺设。铺设时应注意使工字钢接头处于 U 型上托座上。接着铺设底模背楞梁（10 cm × 10 cm 方木），间距为 25 cm。10 cm × 10 cm 方木安置完后，根据箱梁放样中线，铺 15 mm 厚竹胶板作为箱梁底模。

4.3 支架预压

预压荷载根据设计要求，为混凝土结构恒载与模板重量之和的 1.1 倍^[5]。预压采用编织袋装砂进行，可将支架预压区划分为多个预压单元，且每个预压单元内的实际预压荷载强度最大值不得超过该预压单元内预压荷载强度平均值的 110%。此外，每个预压单元内的预压荷载需采用均布形式。

支架预压分 3 次加载完成，第一次加载至设计荷载的 60%，第二次加载至 80%，第三次加载至 100%^[5]。横向加载时，从箱梁中心线向两侧对称布载；纵向加载时，从跨中向支点处对称布载。支架沉降监测点在支架顶部和底部对应位置分别布置，预压变形观测采用水准仪进行。每级加载完成后，停止下一级加载，并每间隔 12 h 对支架沉降量进行一次监测。当支架顶部监测点 12 h 的沉降量平均值小于 2 mm 时，方可进行下一级加载^[5]。支架预压前，应将全部插销用铁锤打紧。

支架预压完成后，卸载可一次性完成，但卸载时应对称、均衡、同步进行。卸去砂包后，清洗模板并重新测量标高，同时记录测量数据。观测结束后，对测量数据进行处理，根据总沉降值和卸载后观测值计算弹性变形量，并依据变形量调整箱梁的底标高，确保混凝土浇筑完成后能够

达到设计所要求的梁底标高。

4.4 箱梁浇筑

箱梁采用汽车泵进行混凝土输送与浇筑。混凝土横向浇筑顺序:底板倒角→底板中间→腹板→顶板底部,浇筑时两侧腹板应对称浇筑。顺桥向浇筑顺序:从中横梁处向两侧对称进行浇筑。混凝土分层浇筑,每层浇筑厚度不得超过30 cm。采用插入式振动器时,其移位间距应不超过振动器作用半径的1.5倍,与侧模应保持50~100 mm的距离,且插入下层混凝土中的深度宜为50~100 mm^[6]。

在混凝土浇筑过程中,安排专人跟踪检查支架和模板的情况。若模板出现漏浆现象,应及时用海绵条进行填塞。在浇筑混凝土前,在 $L/2$ 、 $L/4$ 、 $3/4L$ (L 为单跨箱梁跨度,m)截面位置的底模板下挂垂线,每截面分左、中、右布设3道垂线,垂线下系钢筋棍,并在地面对应位置埋设钢筋棍(地面钢筋棍长度为1.5 m),在地面钢筋棍上绑设直尺。混凝土浇筑前,利用水准仪读出悬吊钢筋棍端部在直尺上的刻度;混凝土浇筑过程中,利用水准仪观测悬吊钢筋棍端部在直尺上的刻度值并做好记录,同时与支架预压记录中的弹性变形数据进行对比。若下沉数据过大,应立即停止浇筑,待查明原因后再继续施工^[7]。

混凝土浇筑完成后,进行收浆抹平作业,特别要进行二次收浆抹面,以避免混凝土出现裂缝。初凝的混凝土采用塑料薄膜和土工布覆盖养护,保持混凝土表面湿润不少于7 d。

4.5 支架拆除

待箱梁同条件试块强度达到设计强度的100%,且预应力体系完善后,方可进行支架拆除。拆除时应遵循“先支后拆、后支先拆、由外向内、由上向下”的原则。模板拆除顺序:箱梁内芯模拆除→最外侧侧模拆除→左、右幅之间的侧模拆除→底模板拆除。支架拆除时,应根据搭设的模块进行拆除,由低到高依次拆除。支撑架拆除顺序:顶托松动→模板背楞梁拆除→主梁拆除→梁、板模板拆除→顶丝拆除→水平杆拆除→立杆拆除→56 a工字钢拆除→63 a工字钢横梁拆

除→钢管立柱拆除→条形基础拆除→场地清理。

5 结语

本文通过融合满堂盘扣支架与钢管柱门洞技术,创新性地提出钢管柱+型钢+盘扣式钢管组合支架施工工艺。该工艺在楚山大道跨线桥工程中实现了40 m跨径门洞设计(净高为5 m、双通道宽度为5.7 m),成功预留了车辆通行空间。借助模型完成支架体系的多维度验算,包括56 a工字钢纵梁、63 a工字钢横梁的抗弯/抗剪/挠度验算以及钢管立柱的稳定性验算,结果均满足JGJ/T 231—2021要求。通过门洞防护、分幅施工及保通措施,在施工期间楚山大道日均通行量保持在设计流量的92%,验证了该工艺对城市交通的良好兼容性。研究表明,钢管柱+型钢+盘扣式组合支架工艺通过结构集成化设计、荷载精细化验算和施工全过程管控,系统性解决了城市跨线桥施工与交通保通之间的矛盾,为高密度交通区的桥梁建设提供了可复用的技术范式。未来需进一步探索该工艺在曲面梁体、超大跨径等复杂场景中的适配性优化。

参考文献:

- [1] 田黎明. 现浇城市高桥连续箱梁支架法施工技术[J]. 筑路机械与施工机械化,2004(11):37-38;41.
- [2] 张东山,光明. 现浇箱梁大跨度钢管贝雷与碗扣组合支架设计与分析[J]. 施工技术,2016,45(17):76-78.
- [3] 张宇,李金强,罗志佳,等. 城市高架桥现浇箱梁大跨度门洞的设计及施工[J]. 桥梁建设,2012,42(增刊1):144-147.
- [4] 建筑施工承插型盘扣式钢管脚手架安全技术标准:JGJ/T 231—2021[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2021.
- [5] 钢管满堂支架预压技术规程:JGJ/T 194—2009[S]. 北京:中国城市出版社,2009.
- [6] 公路桥涵工程施工技术规范:JTG-T F50—2011[S]. 北京:人民交通出版社股份有限公司,2011.
- [7] 张旭. 某市政公路引桥满堂支架施工现浇箱梁要点分析[J]. 河南建材,2013(1):130-132.