

# 武汉新十公路延长线新河特大桥挂篮施工关键技术研究

孙 斌

武汉城市发展集团有限公司 湖北 武汉 430023

**【摘要】**：近年来，我国经济的迅速发展，带来了我国工程建设行业的空前繁荣。在各类工程建设中，桥梁工程的发展备受社会各界的高度重视。工程建设的发展离不开技术的支持，在各种应用比较多的大跨梁桥梁施工技术中，菱形挂篮悬臂浇筑法是应用的比较多的一种，该技术能使所建桥梁外形美观，并且它结构十分简单，在施工过程中，容易进行受力计算。

本文结合黄陂区新十公路延长线新河特大桥实际建设工程中的施工案例，探讨了具体的施工技术，结合工程概况，对黄陂区新十公路延长线新河特大桥主要施工技术和施工方案进行了研究，包括墩顶0号节段施工、箱梁悬浇施工、边跨现浇段施工、合拢段施工等。接下来对挂篮承载力、挠度及预压提供了试验研究方案，并对本工程两个难点问题：边跨现浇段和挂篮相关受力稳定进行了详细验算，结果均满足要求。

**【关键词】**：悬臂施工法；挂篮；方案设计；荷载验算；MIDAS

DOI:10.12417/2705-0998.26.07.094

## 1 工程概况

### 1.1 工程简介

新河特大桥包括新十公路延长线新河特大桥主桥及引桥、汉口北互通立交、南湖互通立交工程。其中新河特大桥桥长1.583Km；汉口北互通立交桥长0.642Km，道路长1.811Km（含汉口北大道加宽0.976Km）；南湖互通式立交桥长0.488Km，道路长1.306Km（含三环线加宽0.357Km）。新河特大桥起点位于黄陂区滠口街南湖村，起点桩号为K0+000，南接三环线（解放大道）南湖村立交，在K0+500处（合武铁路西侧）跨越新河后进南湖村，沿四季美农贸城东侧到达本项目的设计终点K1+583.018，与汉口北大道形成互通式立体交叉。公路等级采用公路一级兼顾城市主干道（I）级标准建设，设计行车速度60Km/h，双向八车道，主桥宽45.5m，沥青砼桥面。

### 1.2 悬浇箱梁概况

第四联采用52+96+52m单箱双室变高度预应力砼连续箱梁；箱梁顶板宽22.25m，两侧悬臂长4.2m，顶板悬臂端厚20cm，悬臂根部厚58cm；底板厚度从跨中至根部由28cm变为58cm；腹板从跨中至根部分别为40cm、65cm两种厚度；边支点梁高2.5m，中支点处箱梁中心梁高5.8m，箱梁高度和底板厚度按圆曲线变化；箱梁顶设单向2%横坡。

主桥箱梁采用三向预应力体系，分为纵向预应力束、桥面板横向预应力束和竖向精扎螺纹钢。纵向预应力采用标准强度1860MPa，设计锚下张拉控制应力1399.2MPa。箱梁纵向向钢束每股直径15.2mm，大吨位群锚体系。箱梁纵向分0号节段、悬臂浇筑段、合拢段及边跨现浇段，其中0号段13m，每个悬浇T构纵向划分为11个节段，梁段数及梁段长度从根部至跨中为7×3.5m、4×4m，悬浇节段总长96m，中跨合拢段长度均为2.0m，边跨现浇段为4.9m。

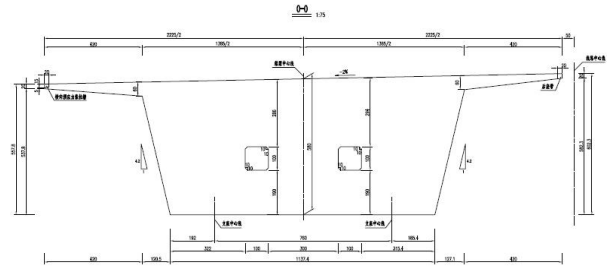


图1 跨中横断面构造图

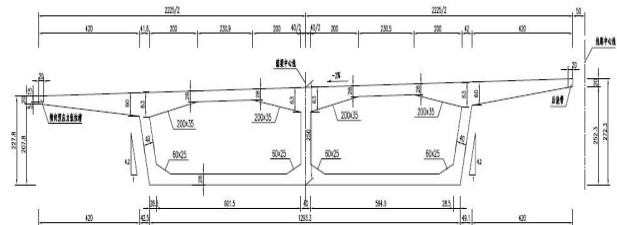


图2 跨中支点横断面构造图

## 2 挂篮承力和预压实验方案

### 2.1 挂篮承载力及挠度试验

挂篮试验的方法比较多：本项目采用水袋法(或沙袋法)进行预压挂篮拼装检查完成后必须采用1.2倍的设计荷载进行堆载试验，检验挂篮的承载力和挠度变形，测定出非弹性和弹性变形，以作为立模标高的依据之一。

(1) 试验目的：消除挂篮主桁、吊带及底篮的非弹性变形。测出挂篮前端在级荷载作用下的竖向位移，检验挂篮的安全性能。

(2) 试验方案：挂篮加载试验拟采取“堆载法”进行，

或采用其他方案，按等代荷载的分级逐级递增加载的试验方法，加载时应注意分级加载，且分级应均匀。

(3) 试验荷载：安全系数：施加荷载的安全系数取 1.2。

(4) 测点布置：挂篮的后锚上挠值、前支点沉降值、主桁前端销结点处变形、主桁上前横梁吊带处和主桁上前横梁跨中变形、底篮前横梁吊带处挠度

(5) 挂篮加载试验规则：

挂篮加载时 T 构两端应同时对称进行，加载过程中对挂篮各部位（节点）派专人随时进行检查，试验荷载持续时间，原则上取决于结构变位达到相对稳定所需要的时间（约 30min）。

全部测点在正式加载试验前进行零级荷载读数，以后每次加载或卸载后应立即读数一次，并在结构变位达到相对稳定后，进入下一级荷载之前再读数一次。

对各个测试点所测数值做好现场实时分析，即时了解控制部位的位移。挂篮加载试验后，可给立模标高提供数据。

设计提供的各荷载阶段的挠度，仅是理论计算值。由于受各方面因素的影响，实际挠度与计算挠度有一定的偏差，由于混凝土是非理想弹性材料，其弹性模量的计算值含有一定的偏差，后灌注的梁段应在已施工梁段有关实测结果的基础上作适当调整，已逐渐消除误差，保证结构线性匀顺。

挂篮制作完毕后应及时进行检测，检查挂篮结构各构件是否按照设计图纸及有关技术规范、规程进行选材、加工、制作，发现问题要及时纠正和整改。检测合格后应在加工现场进行结构拼装，并进行荷载试验以测定挂篮的实际承载能力和梁段荷载作用下的变形情况。

施工挂篮的变形难以准确计算，要通过挂篮荷载试验测定。在挂篮拼装后，采用预加荷载试验，加载量按各梁段重量计算确定。分级进行加载，加载过程中测定各级荷载下挂篮前端变形值，可以得到挂篮的荷载与挠度关系曲线。

荷载试验时，加载时按施工中挂篮受力最不利的梁段荷载进行等效加载。试验过程中加载分级进行，测定各级荷载作用下挂篮产生的挠度和最大荷载作用下挂篮控制杆件的内力。

根据各级荷载作用下挂篮产生的挠度绘出挂篮的荷载—挠度曲线，由曲线可以得出使用挂篮施工各梁段时将产生的挠度，编制各梁段的挂篮弹性变形量值表，为特大桥悬臂施工的线性控制提供可靠的依据。

根据最大荷载作用下挂篮控制杆件的内力，可以计算挂篮的实际承载能力，确保挂篮使用中的安全可靠。

## 2.2 挂篮预压试验方案

0#块混凝土箱梁施工完成后进行下节段箱梁施工之前应对挂篮进行预压，一方面为清除其非弹性变形，第二方面为测定挂篮弹性变形与荷载的关系，为主梁线形控制提供可靠数

据。同时预压也是检验挂篮强度及刚度的一种最有效的方法。结合现场实际情况本工程挂篮预压采用堆载法。

### 2.2.1 试验流程

挂篮定位、安装→初始标高测量→压混凝土荷载 20%的砂袋→测挂篮变形量→压混凝土荷载 50%的砂袋测挂篮变形量→压混凝土荷载 100%的砂袋测挂篮变形量→压混凝土荷载 120%的砂袋测挂篮变形量→卸混凝土荷载 20%的砂袋测挂篮底模标高的变形→卸混凝土荷载 50%的砂袋→测挂篮底模标高的变形→卸除全部砂袋测挂篮底模标高的变形→挂篮预压结束。

### 2.2.2 测点布置

测点布置说明如下：

(1) 底板上设置观测点：根据底板荷载的分布情况布置测点，具体布置图 3 和图 4 所示。

(2) 设置测点应注意的问题：①设置稳定可靠的测点是测试数据准确可靠的前提条件，思想上应该引起足够重视；②方便使用塔尺的测点，应焊接上便于放置塔尺的“凸形物”（如废弃钢筋头），要求焊接可靠，凸形物顶面有最高点；③所有测点应做好红色醒目的标记。正式进行预压试验前，应通知所有试验人员，务必重视对测点的保护。

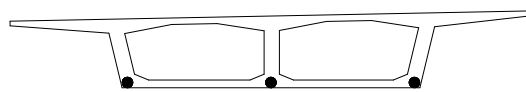


图 3 测点横断面布置图

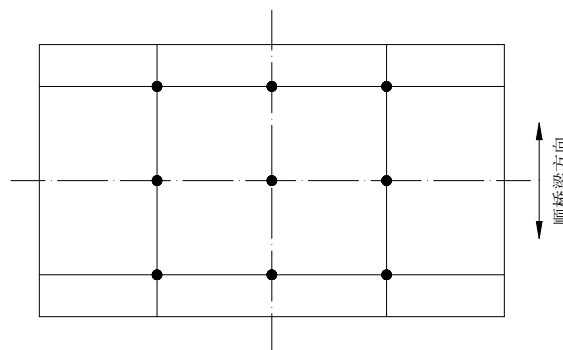


图 4 测点纵向布置图

## 3 边跨现浇段计算

边跨箱梁地模板计划采用 1.5cm 厚竹胶板，竹胶板下方纵桥向铺设 10cm×10cm 的方木，纵向方木间距为 20cm，纵向方木下方横桥向铺设 10cm×15cm 的方木，横向方木间距为 90cm（在箱梁横梁及接头处进行加密，间距调整为 30cm）。箱梁顶板和翼缘板计划采用 1.5cm 厚竹胶板，竹胶板下方纵桥向铺设 10cm×10cm 的方木，纵向方木间距为 30cm，纵向方木

下方横桥向铺设  $10\text{cm} \times 15\text{cm}$  的方木，横向方木间距为  $90\text{cm}$ 。横向方木下搭设碗扣支架，底板下横梁两侧范围和腹板下面支架纵距为  $60\text{cm}$ ，横距为  $60\text{cm}$ ，步距为  $60\text{cm}$ ；底板下其余部分支架纵距为  $90\text{cm}$ ，横距为  $90\text{cm}$ ，步距为  $120\text{cm}$ 。在支架两侧面沿  $45^\circ$  进行剪刀撑加强，在横桥向每五跨支架进行剪刀撑加强。考虑到腹板处混凝土最重，计算时选取腹板处受力进行验算。

### 3.1 荷载取值

(1) 模板自重：

底模、侧模及内模采用竹胶板以及木方： $P_{1-1}=2\text{KN/m}^2$

支架自重按  $0.9\text{m} \times 0.9\text{m}$ ，立杆按  $20\text{m}$  考虑计算：

$P_{1-2}=20 \times 4.893 \times 10^{-4} \times 78.5 / (0.9 \times 0.9) = 0.95 \text{ (KN/m}^2\text{)}$

模板、方木、支架自重合计： $P_1=2.95 \text{ KN/m}^2$

(2) 梁体钢筋混凝土重度： $26 \text{ KN/m}^3$

跨中腹板： $P_{2-1}=26 \times 2.5=65 \text{ KN/m}^2$

跨中底板： $P_{2-2}=26 \times 0.56=14.56 \text{ KN/m}^2$

跨中翼板： $P_{2-3}=26 \times 0.4=10.4\text{KN/m}^2$

(3) 施工荷载： $P_3=2.5 \text{ KN/m}^2$ ，含人员、施工机具、施工材料等。

(4) 倾倒混凝土冲击荷载： $P_4=2.0\text{KN/m}^2$ 。

(5) 振捣混凝土时产生的振捣荷载： $P_5=2.0 \text{ KN/m}^2$ 。

### 3.2 方木力学参数

方木容许顺纹弯应力 $[\delta_w]=14.5\text{MPa}$ ，弹性模量  $E=11 \times 10^3\text{MPa}$ （选用东北落叶松） $10\text{cm} \times 15\text{cm}$  方木：

截面面积： $A=0.015\text{m}^2$ ；

截面惯性矩： $I_x=bh^3/12=0.1 \times 0.15 \times 0.15 \times 0.15/12=2.813 \times 10^{-5}(\text{m}^4)$ ；

截面第抗矩： $W_x=bh^2/6=0.1 \times 0.15 \times 0.15/6=3.75 \times 10^{-3}(\text{m}^3)$ ；

$10\text{cm} \times 15\text{cm}$  方木：

### 参考文献：

- [1] Zhang W H,Zhang Y T,Li G Q.Evolutionary Structural Topology Optimization for Cantilever Construction of Continuous Rigid-Frame Bridge[J].Applied Mechanics&Materials,2011,90-93(3):319-331.
- [2] Casas J R.Reliability-Based Partial Safety Factors in Cantilever Construction of Concrete Bridges[J].Journal of Structural Engineering,1997,123(3):305-312.
- [3] Cornelis V D V, Van Vliet M, De Boer A. Time-related Deflections of Cantilever Bridges[C]//Computing in Civil Engineering(1994).ASCE,2015:922-929.
- [4] 范立础.预应力混凝土连续梁桥[M].人民交通出版社,1988.
- [5] 张作义.大跨度预应力连续梁桥标准化施工工艺与斜拉式挂篮标准化设计[D].西南交通大学,2002.

截面面积： $A=0.01\text{m}^2$ ；

截面惯性矩： $I_x=bh^3/12=0.1 \times 0.1 \times 0.1 \times 0.1/12=8.333 \times 10^{-6}(\text{m}^4)$ ；

截面第抗矩： $W_x=bh^2/6=0.1 \times 0.1 \times 0.1/6=1.667 \times 10^{-4}(\text{m}^3)$ ；

## 4 挂篮验算

### 4.1 设计依据

- (1) 《大桥施工图设计》。
- (2) 《钢结构设计规范》(GB50017-2003)。
- (3) 《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T F50-2011)。
- (4) 《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60-2015)。
- (5) 《公路钢结构桥梁设计规范》(JTG D64-2015)。

### 4.2 材料允许应力及参数

钢材弹性模量： $E=2.06 \times 10^5\text{MPa}$ ；密度： $\gamma=7850 \text{ Kg/m}^3$   
泊松比： $\nu=0.3$ 。

线膨胀系数： $\alpha=0.000012$ 。

## 5 结论与展望

本文结合黄陂区新十公路延长线新河特大桥实际建设工程中的施工案例，探讨了具体的施工技术，结合工程概况，对黄陂区新十公路延长线新河特大桥主要施工技术和施工方案进行了研究，包括墩顶 0 号节段施工、箱梁悬浇施工、边跨现浇段施工、合龙段施工等。接下来对挂篮承载力、挠度及预压提供了试验研究方案，并对本工程两个难点问题：边跨现浇段和挂篮相关受力稳定进行了详细验算。得出的结论如下：

- (1) 针对本工程的边跨现浇段进行验算，包括荷载计算和碗扣支架体系计算，得到的结果均满足要求。
- (2) 挂篮主桁架，前横梁构件强度、刚度、整体稳定和局部稳定都能满足规范设计要求。
- (3) 挂篮吊杆以及锚固系统验算表明，精轧螺纹钢吊杆以及后锚吊杆都能满足规范设计要求。
- (4) 挂篮结构中的吊杆、底篮体系、桁架体系等的各部件均满足设计要求，通常在设计时已经考虑了足够的安全性能，其实际施工过程中受力均小于容许的应力，具有较大的安全储备。