

# 多塔矮塔斜拉桥挂篮悬臂现浇施工技术

孙志永, 刘开来

(中交一航局第三工程有限公司)

**摘 要:**为解决多塔矮塔斜拉桥挂篮悬臂现浇梁段因梁体结构复杂导致施工难度大、施工进度慢的问题,通过黑龙江省佳木斯市鹤大高速松花江特大桥挂篮悬臂现浇施工技术应用,对宽幅箱梁大型挂篮设计、箱梁内模加工安装工艺、斜拉索安装顺序等进行了研究。对宽幅箱梁大型挂篮设计进行合理优化,斜拉索箱梁节段采取整体内模制作安装工艺,斜拉索安装顺序由先斜拉索安装后挂篮前移改为先挂篮前移后斜拉索安装,有效保证了挂篮使用过程中的稳定性和安全性,加快了箱梁内模安装速度,并使斜拉索张拉不占用主线工期,大大缩短了含斜拉索箱梁节段的施工周期,为项目顺利竣工提供了有效保障,为类似项目施工提供应用经验及参考。

**关键词:**桥梁工程;矮塔斜拉桥;挂篮悬臂现浇

## 0 引言

矮塔斜拉桥是国内外新兴桥型,是介于斜拉桥和梁式桥之间的一种组合结构体系,因功能齐全、与环境和谐等优势而迅速发展,在桥梁建设领域占据重要地位。矮塔斜拉桥跨度大、结构复杂、施工难度系数高,因此掌握矮塔斜拉桥施工技术,保证施工质量势在必行,其中对悬臂现浇梁施工技术的研究更是重中之重。

依托松花江特大桥主桥对悬臂现浇梁施工过程进行研究,通过对悬臂现浇梁施工过程中部分环节的优化,使施工工序衔接更加流畅,施工方法更加便捷,有效降低了悬臂现浇梁的施工难度。

## 1 工程概况

松花江特大桥位于黑龙江省佳木斯市沿江乡福胜村附近,跨越松花江,桥梁全长 3 124 m。线路设计为双向四车道,设计速度 100 km/h,全线新建。其中主桥长度 1 020 m,采用塔梁固结、墩梁分离的单索面矮塔斜拉结构体系,跨径布置为 (110+4×200+110) m。主梁采用单箱三室变梁高预应力混凝土连续箱梁。主墩墩顶处梁高 7 m,过渡墩墩顶处、跨中处梁高 4 m,箱梁顶宽 28 m,单侧悬臂长 4 m。

主梁 0 号~2 号节段为支架现浇节段,3 号~25 号节段为悬臂浇筑节段,26 号块为合龙段。其中 0 号~7 号对称浇筑节段为索塔附近无拉索段,长度 60 m;8 号~21 号节段为拉索段,长度 56 m;22 号~25 号为无拉索段,包括 26 号块合龙段长度

为 18 m。主桥主梁构造如图 1 所示。

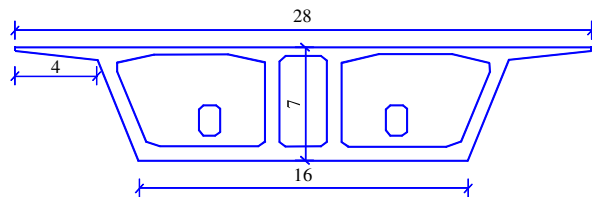


图 1 主桥主梁构造图(m)

## 2 挂篮设计及施工工艺原理

### 2.1 挂篮设计

松花江特大桥主梁挂篮采用菱形挂篮<sup>[1]</sup>,主要由菱形主桁架系统、底托系统、模板系统、悬吊系统、挂篮主桁架后锚系统、走行系统及操作平台系统 7 部分组成。

1) 主桁架系统:主要由 4 榀菱形桁片及其横向设置的前上横梁及 2 幅桁架组成的空间体系。

2) 底托系统:由底托梁、底纵梁及底模组成。底托梁与底纵梁采用螺栓连接,底模面板直铺于底纵梁之上。

3) 模板系统:包括底模、外模、内模、端模,整个模板系统均随主桁行走一次到位。底模采用大块整体钢模板,将钢模板直接固定在底模纵梁上。外侧模由型钢和大块平面钢模板组成桁架式模板,整个外侧模主要支撑在外滑梁上。外滑梁的前端悬吊在主桁架的前横梁上,后端悬吊在已成梁段的翼缘板上(在浇筑顶板时预留孔),吊框上设有滚动轮。外侧模和外滑梁一起与主桁

行走。

4) 悬吊系统: 主要由分配梁、钢吊杆(钢吊带)和千斤顶等组成。钢吊杆(钢吊带)上端稳固于分配梁, 下端通过吊座悬挂底托和内外模。千斤顶置于分配梁之间, 可自由调节底托和内外模的高度。

5) 挂篮主桁架后锚系统: 由锚固梁、锚杆组成, 上端通过锚固梁锚于主梁尾部, 下端通过精轧螺纹钢和锚垫板锚于箱梁混凝土内。

6) 行走系统: 主要由桁架走行轨道、滑船、反扣轮、液压穿心千斤顶、内外滑梁行走轮等组成。

7) 操作平台系统: 主要由前上横梁操作平台、翼板工作平台、底篮前横梁工作平台、底篮前托梁工作平台、底篮后托梁工作平台、梁体修饰平台组成, 四周设置护栏及防护网, 操作平台与各结构件连接在一起。

2.2 工艺原理

挂篮在 0 号~2 号节段上拼装、预压完成后, 现场通过前上横梁上的千斤顶和钢吊带(钢吊杆)调整梁调整钢吊带(钢吊杆)长度, 带动前下横梁和内、外滑梁的提升或下降, 调整模板标高直至模板实测标高与设计立模标高一致, 再进行 3 号块实体施工; 完成 3 号块实体施工后由液压穿心千斤顶拉动挂篮通过滑船在滑轨上前移, 将挂篮行走至 4 号块位置, 完成调模后, 即可进行 4 号块的实体施工。如此循环往复, 直至悬臂梁段对称施工完成。

3 施工方法

3.1 施工工艺流程

悬臂现浇梁施工工艺流程见图 2。

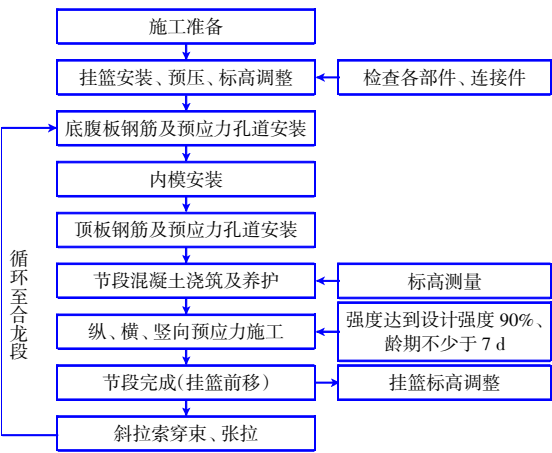


图 2 施工工艺流程

3.2 施工准备

- 1) 保证施工场地内“四通一平”, 即水、电、路、通讯畅通, 场地平整, 各项临时设施如照明、动力、安全设施准备就绪。
- 2) 设计图纸复核, 对施工人员进行施工前技术、安全交底。
- 3) 安排挂篮构件及原材料进场并做好使用前的试验抽检及报验审批工作。

3.3 挂篮及底侧模板组装

- 1) 挂篮拼装  
首先清理挂篮安装平台杂物并找平, 安装轨道垫梁, 保证顺直、顶面水平, 利用梁体预埋竖向精扎螺纹钢固定, 轨道上设置垫板压住轨道, 螺母扭紧, 竖向精扎螺纹钢要求垂直轨道; 然后安装单片主桁架, 提前将单片主桁组好, 用手拉葫芦初步固定, 手拉葫芦两端固定在防撞栏杆预埋钢筋上, 主桁架前支箱与前支座用螺栓连接, 反扣轮用销轴锚固在主桁后锚箱体上; 接着安装后锚压梁、后锚杆, 吊杆穿过翼缘板, 设置垫块调平渐变的翼缘板底面, 保证精轧螺纹钢处于竖直受力状态, 避免后锚滑移造成挂篮不稳定, 再安装后锚平联和主桁中心平联, 通过销子与主桁连接; 之后安装后底托梁, 用手拉葫芦初步连接在主桁上, 通过吊杆固定, 按“前上横梁→吊杆吊带垫梁→吊杆→前底托梁→底篮纵梁”的顺序安装, 合理布置间距, 腹板及底板区域加密; 最后按“外侧模→外滑梁→外导梁→底模→内滑梁”的顺序安装, 并安装操作平台防护系统。
- 2) 底模侧模安装  
底模设计为可抽拉变宽式钢模, 1 号块与 2 号块钢侧模与悬臂现浇段通用。底模整块分片塔吊配合人工安装在底纵梁上。侧模通过挂篮外滑梁滑移到施工节段。

3.4 预压

挂篮预压材料采用袋装砂和混凝土预制块, 选用最重节段荷载的 1.10 倍<sup>[2]</sup>进行预压, 挂篮预压分 5 级进行对称加载。加载试验结果表明, 挂篮最大弹性变形为 22 mm, 塑性变形为 11 mm, 挂篮强度、刚度、稳定性满足要求。

3.5 钢筋绑扎

钢筋按设计尺寸在钢筋加工场集中加工, 用平板车运输至现场, 再通过塔吊吊至作业面, 由人工进行钢筋安装、绑扎; 预应力孔道、通气孔、

护栏底座及挂篮预留孔洞和预埋件等按图纸要求在钢筋绑扎过程中安装。

以“底板钢筋→腹板钢筋→横隔板钢筋→顶板钢筋”的顺序进行钢筋安装。

### 3.6 模板安装

#### 3.6.1 内模施工

3 号~7 号节段与 22 号~25 号节段为无拉索段,内模施工采用抽模施工工艺,木制内模通过内模骨架支撑在 2 道内滑梁上,通过倒链从内滑梁上整体抽出到施工节段,调整就位;8 号~21 号节段为拉索段,因拉索段内设有横隔板,横隔板横贯整个箱室,导致挂篮内滑梁无法安装,因此内模安装变更为集中预制、整体吊装工艺。

##### 1) 拉索段箱梁内模预制

箱梁内模的预制在内模加工场地完成,内模采用 15 mm 厚的木模板作为面板, $\phi 48$  mm 钢管脚手架作为内支撑,分别用 5 cm $\times$ 8 cm 和 8 cm $\times$ 8 cm 方木作为框架。其中钢管脚手架间距 0.8 m,横杆步距 1 m,四周及内部满布剪刀撑;钢管脚手架顶部设置 8 cm $\times$ 8 cm 方木,纵桥向布置,间距 0.8 m;竹胶板次肋采用 5 cm $\times$ 8 cm 方木,横桥向布置,间距 0.3 m;钢管脚手架与方木用 8 号铁丝连接。

为保证内模加工尺寸的准确性,考虑到现浇箱梁腹板与底板夹角不变(斜腹板与底板夹角 108°,直腹板与底板夹角 90°),仅底板宽度变化,在内模加工场地用 8 cm $\times$ 8 cm 方木按 8 号块现浇梁内箱尺寸制作一套胎具。后续梁段内箱加工前将胎具斜腹板侧方木位置按设计量向外调整,角度保持不变,即可实现胎具的循环使用。首先将内模腹板两侧侧模、内模顶板和内模中横梁处端模利用方木和木板加工成大片模板,将侧模 2 片大片模板安放在胎具两侧固定;然后按照内模高度在 2 片侧模中间搭设内支撑脚手架;之后再将顶板大片模板吊放至内支撑脚手架上,顶板大片模板与腹板两侧侧模接缝处打入钢钉固定;最后将端模大片模板吊装至内模端头处,端模大片模板与腹板两侧侧模和顶板接缝处打入钢钉固定。

##### 2) 拉索段内模安装

箱梁底板钢筋绑扎完成后,首先将横隔板内侧 3 个内模按照“先边箱后中箱”的顺序进行安装,为保证边箱内模在安装过程中不与挂篮结构物相碰撞,首先在梁顶将单个内模竖向拆分为 2 部分

并分 2 次吊放至箱梁底板上,然后在底板上将 2 部分内模重组为一个整体,最后整体安装过程中使用手拉葫芦配合吊车进行箱体位置调整,内模位置调整准确后,使用  $\angle 50$  mm $\times$ 50 mm $\times$ 5 mm 角钢将内模支撑固定,角钢上部与竖向脚手架钢管焊接,双面焊焊缝长度不少于 10 cm,角钢下部支立在挂篮底模板上,为防止铁件外漏,角钢下部与挂篮底模板之间垫设混凝土垫块;横隔板钢筋和预应力管道安装完成后,安装横隔板外侧 3 个内模,安装方法与横隔板内侧内模安装方式一致。内模安装完成后,内模斜腹板侧模同箱梁外侧模、横隔板外侧端模同内侧端模、直腹板两侧侧模均用穿心拉杆对拉加固,对拉螺杆竖向间距为 1 000 mm,横向间距为 900 mm,采用人工进行穿模紧固。

#### 3.6.2 端模施工

端模采用角钢加工制作成钢结构骨架,板面使用 6 mm 钢板,侧边开梳形槽控制钢筋位置。安装前在预应力管道位置定位开孔,腹板张拉槽口用钢板加工定型模板成型。

### 3.7 混凝土浇筑

采用泵送浇筑工艺,纵桥向由悬臂端向固定端浇筑,横桥向以“中腹板底板相交处→底板→斜腹板→顶板(含翼板)”顺序浇筑,T 构两端对称均衡浇筑。

梁体两侧斜腹板需开上下两排直径 20 cm 振捣孔,孔中插入振捣棒振捣混凝土,浇筑到振捣孔位置将其封堵后继续向上浇筑。

### 3.8 预应力施工

#### 1) 预应力张拉

钢绞线采用智能控制张拉设备整束张拉,张拉顺序为先长后短,先纵向、后横向,最后竖向。

#### 2) 压浆工艺

管道压浆采用智能控制压浆系统,梁段预应力张拉完成后 24 h 内进行管道压浆,浆体强度不小于 50 MPa。

### 3.9 挂篮行走

#### 1) 挂篮行走前准备

首先放样轨道中线,铺设轨道,在轨道两侧用粉笔间隔 5 cm 画刻度线,测量挂篮移动距离;然后检查各部位,排除阻碍挂篮前移物件(尤其是模板对拉杆),拆除后托梁锚杆,并检查所有手拉葫芦及钢丝绳悬挂情况;最后安装移动牵引装置,

千斤顶通过精轧螺纹钢与走行轨道的前端牵引装置反拉。

#### 2) 挂篮前移

放松底托梁和内外滑梁,使模板脱离梁体,然后解除内外滑梁承重吊框,使滑动吊框受力,再解除后锚杆,最后启动油泵,使千斤顶顶推挂篮前移。

#### 3) 挂篮就位、调模

挂篮走行到位后,安装后锚扁担及后锚杆,然后提升内、外滑梁承重吊框,使模板贴紧梁体再安装底后托梁后锚并提升底后托梁,最后再根据监控单位提供立模标高指令,利用千斤顶调高前端吊杆及吊带,随时观测标高变化,调高至立模标高时,锁紧所有吊杆及吊带。

#### 4) 斜拉索施工顺序调整

本工程原设计要求先完成斜拉索施工,之后挂篮进行前移调模,斜拉索施工占用了主线工期,经沟通确定后,改为先前移挂篮,后进行斜拉索施工。

### 4 应用效果

#### 4.1 质量、安全方面

本工程将挂篮设计为菱形挂篮,并将轨道锚固方式由“扁担梁”锚固优化为单根锚固,挂篮前端的悬吊系统设计为主要受力部位,采用钢吊带连接,内外滑梁部位使用精轧螺纹钢连接,淘汰了全精轧螺纹钢连接的工艺设计,使挂篮同步行走简单、稳定、安全;另外,因现浇梁每个节段混凝土方量较大,混凝土浇筑时间较长,对混凝土浇筑顺序和工艺进行了明确要求<sup>[3]</sup>,确保了混

土浇筑质量。

#### 4.2 施工工艺方面

挂篮悬臂现浇施工技术的顺利应用,使得主桥2个T构共28个拉索节段显著缩短了施工周期,其中箱梁内模集中预制、整体吊装施工工艺较在梁底逐片拼装内模的施工工艺使每个节段施工周期缩短了2d,先前移挂篮后挂索的施工工艺较先挂索后前移挂篮的施工工艺使每个节段施工周期也缩短了2d,每个节段合计缩短周期4d,有效降低了施工设备的使用周期和人员管理费用。

#### 4.3 施工工效方面

根据现浇梁设计总量配置2套挂篮,同时启动了2个主墩上的现浇梁施工。整个施工周期共投入98人,同时进行2个墩位施工,施工效率1/12节段/d。其中,钢筋绑扎和内模安装耗时4d,需作业人员60人;混凝土浇筑和养生耗时6d,需作业人员19人;现浇梁预应力施工、挂篮行走和立模标高调整耗时2d,需作业人员19人。

### 5 结语

在松花江特大桥主桥悬臂现浇梁施工中,通过优化宽幅箱梁大型挂篮结构、改进含斜拉索箱梁节段内模安装工艺和调整斜拉索安装顺序等措施,有效缩短了主线工期,降低了施工难度,保证了施工有序进行,对技术、质量、安全均起到了关键作用,对类似工程具有示范和借鉴作用。

#### 参考文献:

- [1] 王慧东,邵丕锋.挂篮施工技术综述[J].铁道标准设计,2001,21(4):6-7.
- [2] JTG/T 360—2020,公路桥涵施工技术规范[S].
- [3] JTG F80/1—2017,公路工程质量检验评定标准[S].