

DOI: 10.7672/sgjs2024100100

# 吊杆锚固横梁与悬浇段同步施工技术\*

曾伟峰

(中铁二十二局集团第四工程有限公司,天津 301700)

[摘要] 目前采用“先梁后拱”法的梁拱组合桥梁结构中,因吊杆的锚固需要,多在梁体翼缘设混凝土横梁,但横梁结构与悬浇节段间无法做到同步对应,导致出现横梁节段混凝土无法同步浇筑,挂篮体系因阻碍无法前移等问题。依托某连续刚构拱桥工程,对挂篮侧模结构开展局部推拉式改进优化,将位于横梁区域的挂篮侧模板结构调整可为推拉组合的3块模板结构,该体系由增设的支撑纵梁支撑;桁架结构增设钢模板作为横梁的侧模和底模,并利用滑轮实现结构横移。该技术实现了横梁区域内模板的切换、吊杆锚固横梁与悬浇阶段的同步浇筑、挂篮体系的无障碍纵向移动等功能,解决了横梁节段的同步浇筑问题,缩短了节段循环周期、减少了挂篮安拆频次。

[关键词] 桥梁工程;悬臂梁;横梁;挂篮;组合模板;推拉;施工技术

[中图分类号] U445

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2024)10-0100-04

## Synchronous Construction Technology of Suspender Anchorage Beam and Cantilever Casting Section

ZENG Weifeng

(China Railway 22nd Bureau Group 4th Co., Ltd., Tianjin 301700, China)

**Abstract:** At present, in the beam-arch composite bridge structure using the “first beam and then arch” method, due to the need for the anchoring of the suspender, concrete beams are mostly set up on the flange of the beam body, but the beam structure and the cantilever casting section cannot be synchronized. Corresponding, resulting in problems such as the concrete of the beam segment cannot be poured synchronously, and the hanging basket system cannot be moved forward due to obstruction. Based on a continuous steel arch bridge project, the local push-pull improvement and optimization of the hanging basket side formwork structure is carried out. The hanging basket side formwork structure located in the beam area is adjusted to three formwork structures with push-pull combination, which is supported by additional support longitudinal beams. The steel formwork is added to the truss structure as the side formwork and bottom formwork of the beam, and the pulley is used to realize the lateral movement of the structure. This technology realizes the switching of the formwork in the beam area, the synchronous pouring of the suspender anchorage beam and the cantilever casting stage, and the barrier-free longitudinal movement of the hanging basket system, which solves the problem of synchronous pouring of the beam segment, shortens the segment cycle and reduces the frequency of hanging basket installation and disassembly.

**Keywords:** bridges; cantilever beam; crossbeam; hanging basket; combination template; push and pull; construction

### 0 引言

吊杆横梁与悬臂梁体同步浇筑较常见,但规模

和设计要求的不同<sup>[1]</sup>,导致施工工艺千差万别,先梁后拱法施工与横梁浇筑造成的相互干扰较大,安全风险高,需解决的矛盾较多<sup>[2-4]</sup>。

在某180m连续刚构拱桥施工过程中,从悬臂节段与横梁混凝土模板的设置、分割及安装等进行优化,最终顺利完成。

\* 中铁二十二局集团有限公司科技研究开发计划:180m跨度刚构拱桥施工技术(17-07B)

[作者简介] 曾伟峰,高级工程师,E-mail: 33174178@qq.com

[收稿日期] 2024-01-23

### 1 工程概况

该连续刚构拱桥(刚构连续梁+钢管拱)采用先梁后拱法施工。梁体为单箱单室变高度箱形截面,顶面宽 13.3m,底板宽 9.0m;采用挂篮法浇筑 1~19 号节段,悬浇最大高度为 8.86m,节段长度分为 3.0,3.5,4.0,4.5m,一次浇筑混凝土最大量 123.6m<sup>3</sup>。等高度哑铃形钢管混凝土拱肋设于主跨处,计算跨度 180m。梁拱间设 36 对双吊杆(低应力防腐拉索)锁定,吊杆上端锚固于拱肋处张拉底座,下端锚固于吊杆横梁下缘。吊杆横梁为钢筋混凝土结构,与梁体同步浇筑。位置关系立面如图 1 所示。

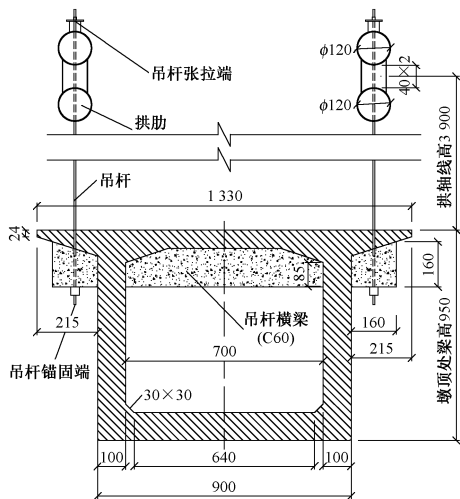


图 1 位置关系立面(单位:cm)

Fig. 1 Location relationship facade (unit: cm)

吊杆按间距 9m 沿梁体纵向左右对称布置,共 36 对,如图 2 所示。吊杆横梁在主跨范围内共 18 道,采用钢筋混凝土结构与梁体同步浇筑;每道吊杆横梁与悬臂节段间隔一个节段,除第 1 道横梁外,其他均位于悬臂节段后端 1m 位置;吊杆横梁采用与梁体同强度等级(C60)的钢筋混凝土结构,吊杆横梁最大高度 1.6m,最小高度 0.85m,长 12.2m,横梁宽 1.40m。

### 2 主要问题及解决思路

1) 常规挂篮侧模为平板模板,无法完成凸出处

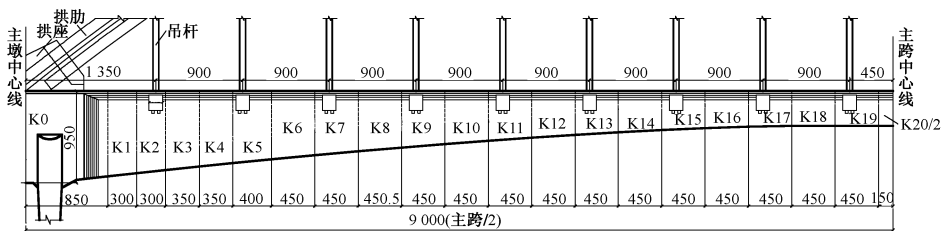


图 2 吊杆布置示意(单位:cm)

Fig. 2 Suspender arrangement (unit: cm)

的吊杆横梁钢筋安装及混凝土浇筑,不能保证吊杆横梁与梁体混凝土整体浇筑,将导致质量缺陷出现。

2) 带吊杆横梁的悬臂节段另制作整体挂篮侧模,安拆难度大,安全风险高,工效低。

3) 常规挂篮模板前移时,因横梁凸出,阻碍侧模、内模移动。

解决思路:改造挂篮侧模及内模,分成固定部分和可移动部分;通过调整可移动模板适应有无横梁的梁体节段钢筋绑扎和混凝土浇筑要求<sup>[5-6]</sup>。

### 3 组合模板的设计及应用

#### 3.1 挂篮模板

挂篮侧模及翼缘板模板桁架采用[10 槽钢焊接制作,共 5 道,如图 3 所示。外滑梁(双[30]下侧的桁架,自梁底至外滑梁处宽度由 130~305cm 变化,安放在挂篮下横梁上的 I20b 纵向分配梁上。外滑梁上侧的桁架为三角桁架,宽 305cm;通过 I10 横分配梁,落在外滑梁上。侧模及翼缘板模板采用[8 槽钢作为模板背楞,模板面板采用 5mm 钢板;在外滑梁处将侧模及翼缘板模板单独加工制作,采用高强螺栓连接。

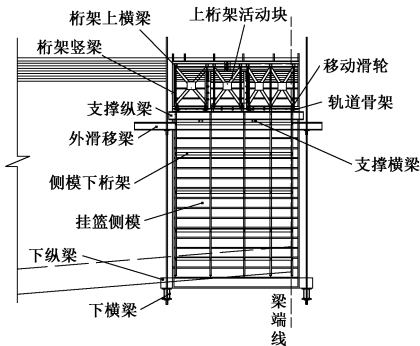


图 3 挂篮侧模

Fig. 3 Hanging basket lateral formwork

挂篮内模内滑梁(双[30]采用[10 三角桁架,共 5 道。

#### 3.1.1 侧模、翼缘板模设计

##### 3.1.1.1 横梁高度以下的侧模设计

侧模纵向设为一块,在横梁位置的横向背肋按间距 40cm 设 M24 高强螺栓孔,与横梁上侧的侧模

栓接牢固。

### 3.1.1.2 横梁高度范围的侧模、翼缘板设计

梁面以下 200cm 高度范围内的侧模及翼缘板(高度方向栓接以上部分)分成 3 段:横梁前端模板(侧模 A)、横梁处模板(侧模 B)、横梁后端模板(侧模 C),如图 4 所示。

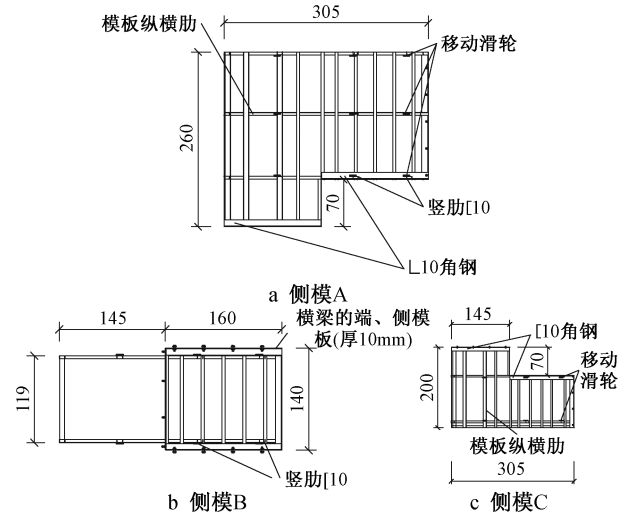


图 4 侧模及翼缘板(单位:cm)

Fig. 4 Lateral formwork and flange plate(unit: cm)

横梁前端模板俯视为 L 形,与横梁模板接触面 L10 等边角钢用钢板焊接,角钢上设螺栓孔;后端设横梁侧模。横梁处模板俯视为矩形,长 305cm,宽 120cm。横梁后端模板,俯视为 L 形,与横梁处模板接触面 L10 等边角钢与钢板焊接,角钢上设螺栓孔,前端设横梁侧模。

3 块模板可进行组合合并,如图 5 所示。横梁前后段模板间可实现栓接。钢板背侧设 [8 槽钢按间距 40cm 纵横背楞;端头处设 [10 代替。

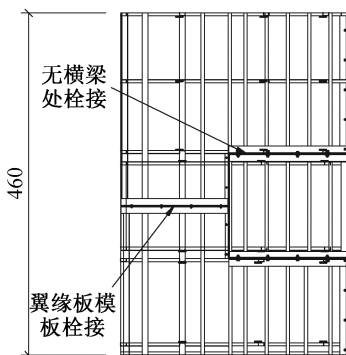


图 5 侧模分块组合示意(单位:cm)

Fig. 5 Lateral formwork block combination (unit: cm)

### 3.1.1.3 可调滑动桁架设计

为实现位置可调,将上端模板桁架设置为分离可行走桁架结构<sup>[7]</sup>,如图 6 所示。桁架共设 3 个独

立体系,每个桁架体系由 2~3 个骨架组成,骨架由 [10 槽钢焊接而成,桁架横梁、桁架竖梁与桁架纵向连接;桁架上下横梁、第 1 道桁架竖梁与模板背楞之间断续焊接;桁架横梁与 4 道桁架竖梁焊接牢固;桁架下横梁侧面设行走滑轮,行走滑轮卡在 [63 轨道内,轨道前端设限位挡块;轨道与轨道骨架(双 110),轨道骨架与桁架骨架对应设置。

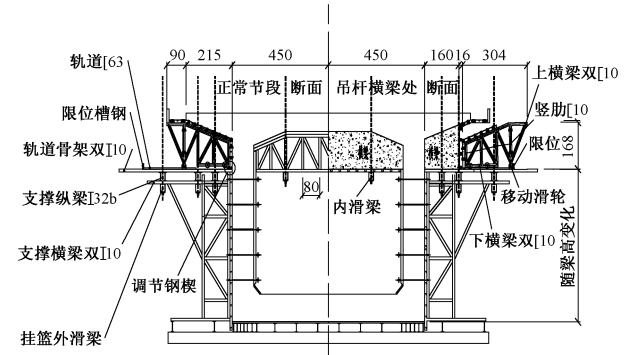


图 6 侧模桁架结构(单位:cm)

Fig. 6 Structure of lateral formwork truss (unit: cm)

### 3.1.2 内模及顶板模板设置

内模采用竹胶板+方木背肋,顶板模板桁架采用 [10 槽钢焊接制作,共 5 片,桁架顶部按设计尺寸铺设钢模板作为顶模;控制桁架高度大于横梁高度,桁架落在挂篮内滑梁上。调整桁架间距避让横梁,将桁架分别设置在横梁前后方向的两端,横梁范围内加设钢模板底模和竹胶板侧模。

## 3.2 应用方法

### 3.2.1 横梁节段施工

挂篮移动到位后,将横梁处模板(模板 B)体系,利用手拉葫芦横向拖出,沿滑轮轨道移动至限位处,采用楔子等固定牢固。横梁前端模板(模板 A)体系、横梁前端模板(模板 C)体系通过预设在翼缘板处的螺栓孔连接并紧固;检查并打磨体系 A、体系 C 上设置的横梁侧面钢模板,并予以加固;将体系 A、体系 C 模板与下部侧模通过螺栓连接成整体。在横梁端头处利用模板体系 B 作为支撑,设竹胶板端头模板。通过上述操作形成梁体外侧的横梁模板。

梁体内横梁处,将横梁底模落在内桁架上并通过螺栓与内桁架临时固定,侧面安设竹胶板侧模,形成梁体内侧的横梁模板。

当梁体腹板钢筋绑扎至横梁位置时,按横梁底板主筋、横梁顶板主筋、箍筋的顺序安装横梁钢筋;横梁主筋采用直螺纹套筒或搭接焊接工艺连接,并与梁体腹板、顶板钢筋绑扎牢固,外设垫块保证保

护层厚度;按设计位置准确埋设锚固双钢套管( $\phi 219 \times 10$ ),并采取双层定位筋固定牢固,保证套管的位置、垂直度满足张拉锚固要求。

横梁混凝土与梁体同步浇筑,按梁体底板→梁体腹板→横梁→梁体顶板的顺序浇筑;横梁混凝土按先两端后中间的顺序浇筑,混凝土采用泵送方式入模,采用插入式振捣棒振捣;浇筑过程中应注意避让钢套管,防止其发生移动或倾斜;因横梁处钢筋密集,应严控混凝土工作性能,坍落度过大易造成漏浆、外观质量差,坍落度过小则无法保证混凝土密实、易出现蜂窝麻面;浇筑过程中由专人检查加固模板,并观察混凝土饱满程度。混凝土梁体全部浇筑完成后,应按排水坡度、桥面标高等要求完成梁体的收面工作。浇筑完成后采取覆盖及不间断喷淋等养护措施,尤其应加强横梁处的混凝土养护,确保结构满足张拉、锚固等工作要求。

### 3.2.2 挂篮前移过横梁节段

横梁节段浇筑完成且具备挂篮前移条件时,松动挂篮的悬吊系统,将模板与混凝土脱离。

拆除梁体箱室内的横梁侧模,将内滑梁下放至内桁架顶(低于横梁底)。

拆除外侧的横梁端头模板,松开体系 A、体系 C 的可调钢楔(见图 7),解开螺栓连接,解除与下侧侧模体系固定螺栓,通过卷扬机横向拖至限位处,然后将体系 A、体系 B、体系 C 之间的螺栓固定成整体。

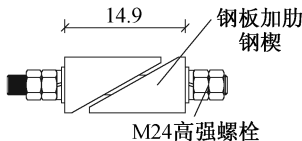


图 7 可调钢楔(单位:cm)

Fig. 7 Adjustable steel wedge (unit: cm)

加固并检查无误后,启动挂篮前移电机,挂篮体系按正常方法,整体前移至下一节段处。

### 3.2.3 一般节段施工

挂篮就位后,解除体系 A、体系 B、体系 C 之间的螺栓连接,人工将各体系推进至设计梁体位置,并通过调节钢楔微调模板高度及位置,桁架下横梁内增加钢垫块,使滑轮处于不受力状态,位置符合设计规范要求。将体系 A、体系 B、体系 C 与下侧侧模通过螺栓紧固到位,形成整体后进行检查确认。

在箱室内部将内滑梁及顶模桁架提升至设计位置;在横梁底模上搭设短钢管支架(高 1.0m),钢管顶安装竹胶板模板,通过顶托调整至与其他部位的模板一致后固定。

完成后,再次测量放样并调整锁定挂篮悬吊系统,而后按照常规挂篮悬浇工艺,依次完成钢筋绑扎、预应力体系安装、混凝土浇筑等工作。

## 4 注意事项

1)模板结构需经计算后,方可加工制作;加工时需保证焊缝质量;连接螺栓须采用高强螺栓,且应为双螺母;钢筋安装及混凝土浇筑等外部荷载施加的作业工况下,应确保模板滑轮不受力;应经常检查钢楔、滑轮等部件,损坏时及时更换。

2)应在挂篮结构稳固的状态下开展各工序作业,并注意操作顺序,严禁对模板硬拉硬拽,以防结构损伤或发生危险。

3)塔式起重机、吊车、泵车等大型设备作业时,须设专人指挥,并配备对讲机等通信设备。

4)梁体较高节段混凝土应辅以串筒等方式入模,还应设辅助浇筑窗孔,确保混凝土浇筑质量。

## 5 结语

1)针对吊杆锚固横梁与悬浇连续梁非对应关系问题,通过整体式挂篮侧模改造为分体多块式的方法,形成锚固横梁模板与挂篮模板组合而成的快速拆装体系。通过增设支撑纵梁、横移轨道等方法,实现了横梁模板的横向移动。

2)该体系降低了横梁悬浇节段的同步施工难题、解决了挂篮体系沿梁体纵向行走不便、需根据有无横梁反复调整挂篮体系、横梁实体质量整体性差等问题。

3)该体系采取的带滑轮分块式推拉侧模设计,降低了安拆吊装难度和劳动强度,缩短了高空作业时间,提高了施工安全性。

### 参考文献:

- [1] 周水兴 何兆益 邹毅松,等. 路桥施工计算手册[M]. 北京:人民交通出版社,2001.  
ZHOU S X, HE Z Y, ZOU Y S, et al. Road and bridge construction calculation manual [M]. Beijing: China Communications Press, 2001.
- [2] 何志超,王虎. 城际铁路先梁后拱法系杆拱桥施工监控技术研究[J]. 铁道勘察,2022,48(1):71-74,100.  
HE Z C, WANG H. Study of the monitoring of intercity railway tied arch bridge with beam-first-and-arch construction craft[J]. Railway investigation and surveying, 2022, 48(1): 71-74,100.
- [3] 秘嘉川,吕彭民,关泽强,等. 双幅整体浇筑式造桥机安全性分析与试验[J]. 中国工程机械学报,2017,15(4):365-369.  
MI J C, LÜ P M, GUAN Z Q, et al. Calculation analysis and experiment of structure security for the double amplitude integrally overhead launching gantry [J]. Chinese journal of construction machinery, 2017, 15(4): 365-369.

联规则。根据关联规则的挖掘结果,利用复杂网络分析了施工中安全风险因素的耦合关系。利用 BIM 模型直观地展示数据信息,从而指导现场施工。该方法已经在大型工程项目中得到了验证和应用,证明了框架的价值和诊断方法的有效性。

#### 参考文献:

- [ 1 ] 任路,秦超,向虎,等. 武汉某高层建筑深基坑设计与施工[J]. 施工技术(中英文),2023,52(1):119-124.  
REN L, QIN C, XIANG H, et al. Design and construction of deep foundation excavation of a high-rise building in wuhan[J]. Construction technology, 2023,52(1):119-124.
- [ 2 ] 孙新红,周之皓,汤育春,等. 面向危险场景的装配式建筑施工安全事故分析[J]. 施工技术(中英文),2022,51(2):51-57.  
SUN X H, ZHOU Z H, TANG Y C, et al. Scene-oriented statistical analysis of safety accidents in prefabricated construction [J]. Construction technology, 2022,51(2):51-57.
- [ 3 ] 肖鹏程,郭泗宾. 建筑起重机械使用中较重大安全事故的总结[J]. 施工技术,2020,49(S1):522-526.  
XIAO P C, GUO S B. Summary of maior safety accidents in the use of construction lifting machinery [J]. Construction technology, 2020,49(S1):522-526.
- [ 4 ] 李俊松,董佳淇,汪明,等. 基于 IFC 及 AHP 的轨道交通工程盾构施工安全管控信息标准与决策分析研究[J]. 铁道标准设计,2023,67(9):116-122.  
LI J S, DONG J Q, WANG M, et al. Research on information standards and decision analysis of shield construction safety management and control of rail transit engineering based on IFC and AHP [J]. Railway standard design, 2023, 67 ( 9 ): 116-122.
- [ 5 ] 沈峥宇. 上海浦东国际机场捷运系统施工安全管控措施分析[J]. 城市轨道交通研究,2022,(S1):114-116.  
SHEN Z Y. Analysis on construction safety control measures of Shanghai Pudong International Airport MR [J]. Urban mass transit, 2022,(S1):114-116.
- [ 6 ] 刘天正,孙长军,王光辉,等. 北京轨道交通工程建设安全风险分级管控创新与展望[J]. 隧道建设(中英文),2021,41(11):1871-1876.

LIU T Z, SUN C J, WANG G H, et al. Innovation and prospect of safety risk classification management and control in beijing urban rail transit project construction [J]. Tunnel construction, 2021,41(11):1871-1876.

- [ 7 ] 史国梁,刘占省,路德春,等. 索桁架结构施工误差评估的孪生仿真与模型试验[J]. 建筑结构学报,2024,45(4):107-119.  
SHI G L, LIU Z S, LU D C, et al. Twinning simulation and model test for construction error assessment of cable truss structures [J]. Journal of building structures, 2024, 45 ( 4 ): 107-119.
- [ 8 ] 高欣,陈琳彦,皮宗婕,等. 装配式混凝土结构施工风险管控机制[J]. 同济大学学报(自然科学版),2019,47(11):1676-1682.  
GAO X, CHEN L Y, PI Z J, et al. Construction risk control mechanism for fabricated concrete structure[J]. Journal of Tongji University(natural science), 2019,47(11):1676-1682.
- [ 9 ] 张栋樑,王永志,廖少明,等. 土木工程数字孪生建造技术研究进展[J]. 施工技术(中英文),2023,52(5):1-12.  
ZHANG D L, WANG Y Z, LIAO S M, et al. Review of digital twin construction technology for civil engineering [J]. Construction technology, 2023,52(5):1-12.
- [ 10 ] 刘占省,孙啸涛,史国梁. 智能建造在土木工程中的应用综述[J]. 施工技术(中英文),2021,50(13):40-53.  
LIU Z S, SUN X T, SHI G L. Summary of application of intelligent construction in civil engineering construction [J]. Construction technology, 2021,50(13):40-53.
- [ 11 ] 叶勇军,张笑语,张英朋. 塔吊作业事故关联规则挖掘及贝叶斯建模分析[J]. 安全与环境学报,2024,24(2):610-616.  
YE Y J, ZHANG X Y, ZHANG Y P. Tower crane operation accident association rule mining and Bayesian modeling analysis [J]. Journal of safety and environment, 2024,24(2):610-616.
- [ 12 ] 王昊,于尧,刘剑平,等. 船舶事故时空特征及致因关联规则挖掘方法[J]. 上海海事大学学报,2023,44(3):85-90,118.  
WANG H, YU Y, LIU J P, et al. Mining method for spatio-temporal features and causal correlation rules of ship accidents [J]. Journal of Shanghai Maritime University, 2023,44(3):85-90,118.

#### (上接第 103 页)

- [ 4 ] 孙涛,霍凯荣,李博,等. 黄河流域下承式网状系杆拱桥总体施工方案比选[J]. 施工技术,2021,50(6):119-121.  
SUN T, HUO K R, LI B, et al. Comparison and selection of the overall construction scheme of the through mesh tied arch bridge in the Yellow River Basin[J]. Construction technology, 2021,50(6):119-121.
- [ 5 ] 王玉峰. 现浇桥梁模板支架设计与施工技术分析[J]. 工程技术研究,2020,5(21):187-188.  
WANG Y F. Design and construction technology analysis of cast-in-place bridge formwork support [J]. Engineering and technological research, 2020,5(21):187-188.

- [ 6 ] 谭蒙. 挂篮法施工技术在大跨度现浇悬臂梁施工中的应用[J]. 长春大学学报,2020,30(2):5-9.  
TAN M. Application of hanging basket method construction technology in the construction of large span cast in situ cantilever beams[J]. Journal of Changchun University, 2020, 30 ( 2 ): 5-9.
- [ 7 ] 于荣俊,孙樟,王晓东,等. 大跨度桁架梁定向滑动支座设置研究[J]. 江苏建筑,2023(6):32-37.  
YU R J, SUN Z, WANG X D, et al. Research on the setting of directional sliding bearings for large-span truss beams [J]. Jiangsu construction, 2023 ( 6 ): 32-37.