

开模式挂篮在连续梁梁拱组合结构施工中的技术研究

陈彦发

中铁十一局集团有限公司投资公司, 湖北 武汉 430060

[摘要]文章针对桥梁连续梁梁拱组合结构施工中开模式挂篮施工技术进行研究, 介绍开模式挂篮设计方法和浇筑工艺, 引用移动模架的制梁原理, 通过侧开模挂篮有效的解决因在梁体腹板设置外凸块影响挂篮前移的难点。通过进行梁段悬臂浇筑施工, 可满足施工质量和安全性要求。随着理论研究的不断完善, 为连续梁梁拱组合结构施工作业提供借鉴。

[关键词]连续梁施工; 开模式挂篮; 施工技术

DOI: 10.33142/ec.v3i2.1466

中图分类号: U445.4

文献标识码: A

Study on the Construction Technology of the Continuous Beam Arch Composite Structure with Open Mode Hanging Basket

CHEN Yanfa

Investment Company of China Railway 11 Bureau Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430060, China

Abstract: This paper studies the construction technology of open mode hanging basket in the construction of bridge continuous beam arch composite structure, introduces the design method and pouring technology of open mode hanging basket, quotes the beam making principle of mobile formwork, and effectively solves the difficulty of the hanging basket moving forward due to the setting of external convex block on the web of beam body through side opening formwork hanging basket. Through the cantilever pouring construction of beam section, the construction quality and safety requirements can be met. With the continuous improvement of theoretical research, it can provide reference for the construction of continuous beam arch composite structure.

Keywords: continuous beam construction; open mode hanging basket; construction technology

引言

城市人口快速增加, 使得城市框架及交通量越来越大, 为了缓解交通压力, 需要建立通行能力较强的交通体系。快速路建设工程数量明显增多, 而快速路是以高架桥与封闭快速道路为基础的, 梁拱组合结构作为一种新兴的桥型, 结构轻盈美观, 具有较大的竖向刚度和良好的动力性能, 呈现出广阔的应用前景。而加大开模式挂篮施工技术在梁拱组合结构桥梁施工中的推广, 能起到较好的施工效果。

1 工程概况

针对宿淮铁路京杭运河特大桥连续梁拱组合结构为例, 探讨开模式挂篮施工设计及其在连续梁浇筑施工技术。该桥组合桥连续梁腹板设计有吊杆锚固外凸块, 且外凸块距节段端头距离不等, 普通挂篮因梁体腹板外凸块阻碍致使挂篮不能前移, 限制了普通挂篮在该连续梁结构上使用。侧开模挂篮施工技术的开发应用, 解决了腹板设置外凸结构连续梁采用挂篮施工技术难题, 充分发挥挂篮施工连续梁优势, 该工程施工中利用开模式挂篮完成浇筑施工, 符合梁体腹板钢管拱吊杆锚固块在不同部位的要求, 提高施工安全性和施工质量。该桥梁工程设计利用 62+132+62 米的梁拱组合结构, 连续梁构件中心里程为 DK172+753。在桥梁工程中连续梁使用直腹板截面、变高单箱单室, 中心支点的梁高为 7 米, 全长为 257 米, 连续梁底部采用抛物线设计方法, 箱梁顶端底板宽度为 6.5 米, 横向宽为 10.6 米, 除了梁端和中墩部位, 其余梁顶板厚度为 40cm, 底板厚度由 0.35 米变化到 1 米, 梁体腹板厚度变化为: 40-60-80-100cm。梁端腹板厚度为 80cm, 边跨腹板厚度 60cm。全联设计 18 道横隔板, 在横隔板位置腹板外凸 75cm 肋作为吊杆锚固块。



图 1 吊杆锚固外凸块示意图

2 挂篮设计与选型

2.1 挂篮设计

京杭运河桥梁连续梁主跨为连续梁+钢管拱组合的桥梁，目前国内还没有关于开展整体侧模的开模式挂篮施工梁拱组合结构连续梁的资料，为了保障桥梁施工及运营环节中，梁柱刚度及稳定性达标，钢管拱组合中的吊杆结构要设置在梁底，锚固块设置在腹板外凸位置，锚固块距离梁体梁端距离不等，造成腹板外设置的凸肋给挂篮的侧模和底模设计增加了难度，所以该桥悬臂施工存在挂篮设计复杂、施工安全风险高等诸多施工难点。因此进行挂篮结构设计时要解决以下难题：一是结构简单，重量轻，使用可靠，刚度大；二是挂篮前端及中部工作面开阔，避免对混凝土材料传输和轨道安装产生影响；三是挂篮施工实践中不中断，确保桥下净空；四是挂篮可横向开模，满足外凸锚固块在节段不同位置连续浇筑要求；五是挂篮侧模应进行模板系统的设计，减少接缝，确保梁体外观质量要求。

2.2 挂篮选型

采用开模式挂篮施工技术时，要注意挂篮合理选型。挂篮是连续梁施工中的重要设备，从结构形式来看，将其分成斜拉式、桁架式、型钢式和混合式四种。结合梁体结构特点以及悬臂浇筑要求，建筑单位在梁拱组合结构连续梁工程中利用整体侧模的开模式挂篮。由锚固块距离梁体两端的距离确定挂篮长度，这一挂篮侧模沿着桥梁方向的长度为5.7米，底模沿着桥梁方向为4.8米。挂篮前移和侧向开模都要利用千斤顶装置，方便挂篮开模和前移操作，提高了挂篮施工的安全性及施工功效，有利于缩短工期。

2.3 挂篮检算

为了验证挂篮结构安全性，需要在施工前要进行结构验算，验算内容包括以下几方面：一是为浇筑状态挂篮吊杆和底梁计算，主要包括后托梁、吊带以及底模纵梁的强度计算；浇筑状态下最大单元体积荷载下的梁体计算；开模 L 梁计算；挂篮外滑梁计算；挂篮桁架体系中杆件稳定性、主构架销轴及变形量计算；挂篮运行过程中各个杆件受力情况等。

例如通过 $\sigma_w = \frac{M}{W}$ 计算后托梁、底模纵梁、L 梁的弯曲应力； $\sigma = P/A$ 计算吊带销孔挤压应力； $\sigma = k \times P / (2 \times a \times \delta)$ 计算销孔拉板强度等各项计算确保挂篮在施工过程中的安全稳定。

2.3.1 主要技术参数

砼自重 $GC = 26 \text{ kN/m}^3$;

钢弹性模量 $E_s = 2.1 \times 10^5 \text{ MPa}$;

材料强度设计值:

Q235 钢: $[\sigma] = 170 \text{ MPa}$, $[\tau] = 125 \text{ MPa}$

Q345 钢: $[\sigma] = 210 \text{ MPa}$, $[\tau] = 120 \text{ MPa}$

2.3.2 挂篮构造

挂篮为三角形挂篮，主桁架由 HM450*300 和 10mm 及 16mm 的钢板组焊而成，重 19.69t；中横梁由双 HN450*200 的型钢组成；前横梁由双 HN600*200 的型钢组成，重 6.5t；底篮前后托梁由双 HN600*200 的型钢组成；底篮腹板下纵梁为 HN450*200 的型钢；吊带采用 30*160(170)的 Q345 的钢板；吊杆采用 $\phi 32$ 精轧螺纹钢。行走系统重 7.39t，挂篮系统总重 101t。

2.3.3 挂篮计算荷载系数

混凝土浇筑时的超灌系数：1.05;

挂篮空载行走时冲击系数 1.3;

混凝土浇筑和挂篮行走时抗倾覆系数：2.0。

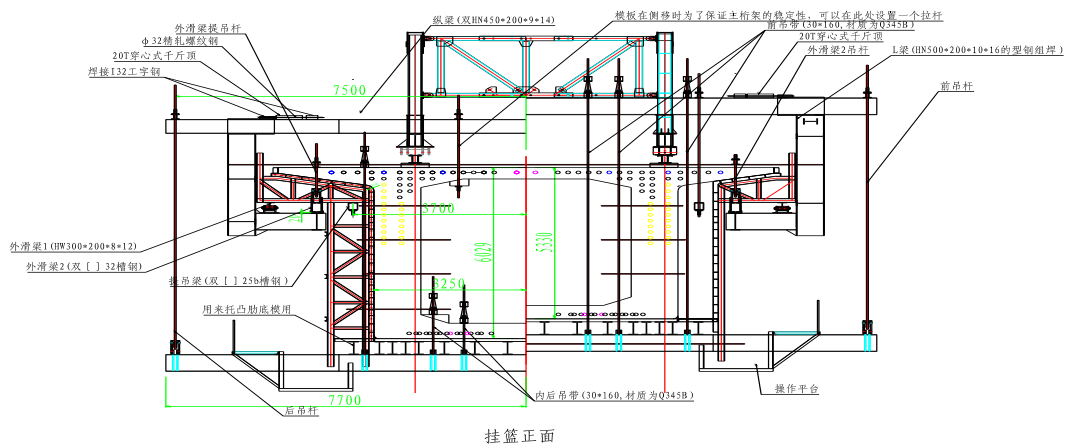


图2 挂篮正面布置图

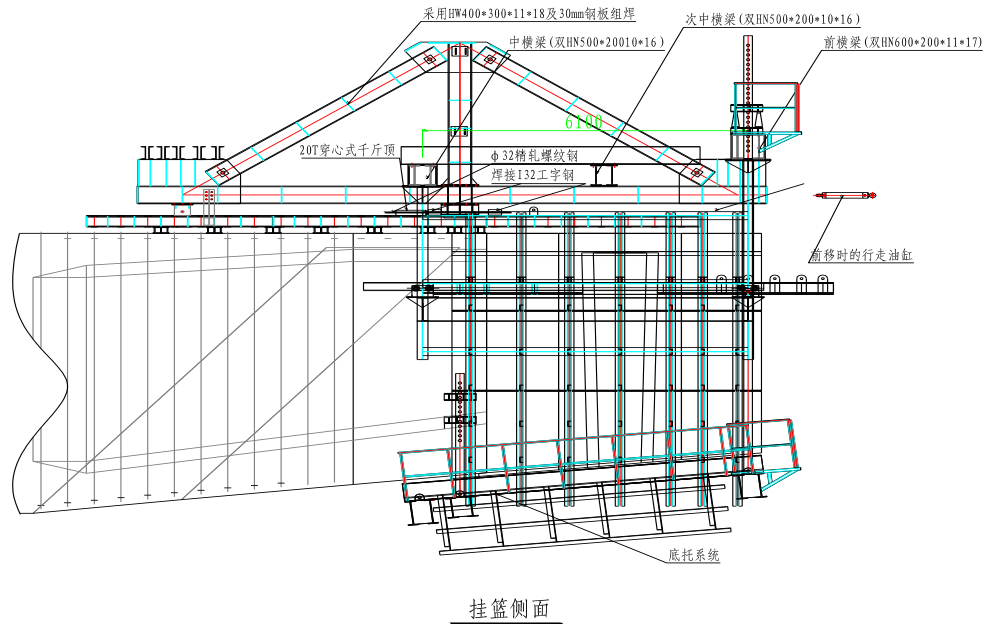


图3 挂篮侧面布置图

3 开模式挂篮施工工艺及特点

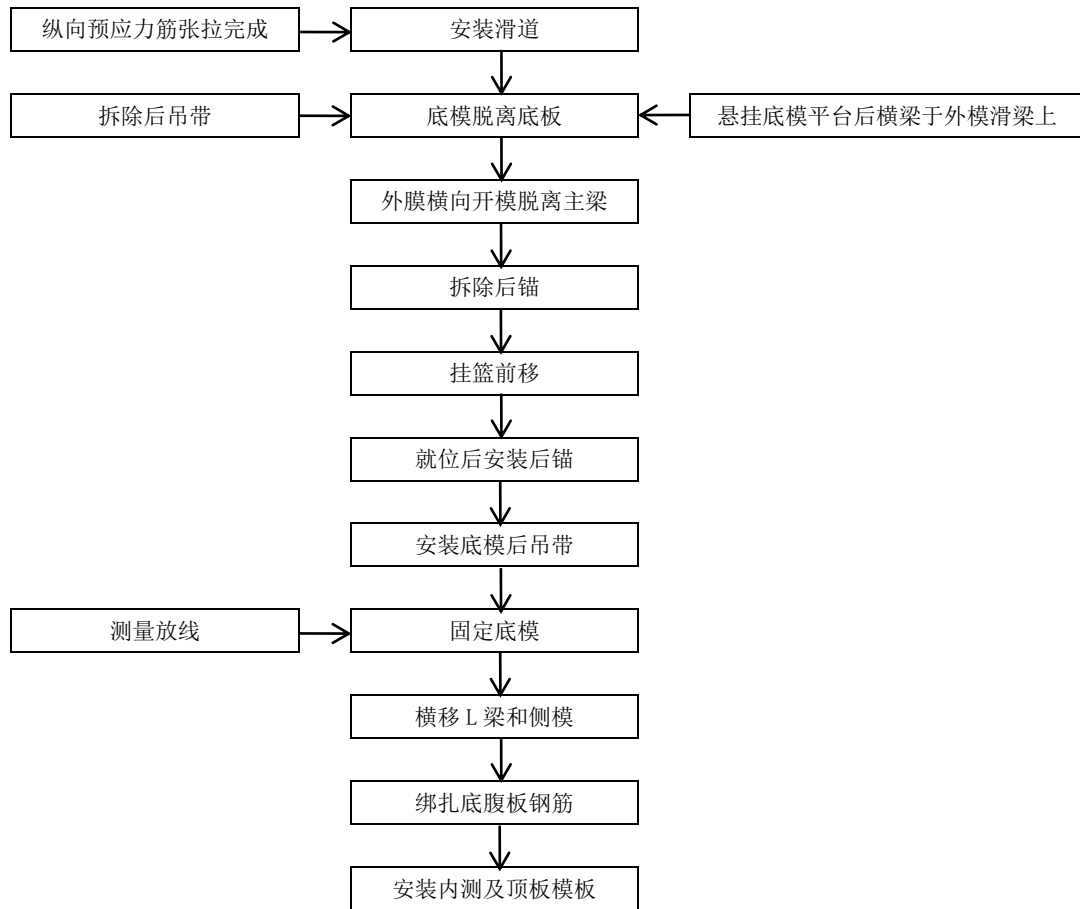


图4 挂篮走行及开合模工艺流程图

一是模板调整。将挂篮前移到指定位置后进行标高和水平中线的控制。中线控制即是在上一浇筑节段上采用全站仪确定上一阶段中心线。利用中心线挂线向下一施工梁段延长，在施工端头得到一个理论偏移大小，确定下一节段的

轴线。利用全站仪进行审核，加强标高控制，要求底模标高要考虑设计标高、底模预抛高和实际数据调整大小、挂篮变形及自重、混凝土弹模等因素，通过模拟计算确定预抛高。

二是钢筋绑扎。按照施工要求进行钢筋下料、弯制、成型、吊装至挂篮内等操作，然后进行人工绑扎。按照先底板后腹板的顺序进行钢筋绑扎，并安装横向、竖向管道，使钢筋、管道定位符合设计要求^[2]。

三是混凝土浇筑施工，每个悬浇段混凝土浇筑应是一次完成的，在混凝土完全凝固前完成浇筑。浇筑过程中按照由端头到内侧的浇筑顺序进行，要求挂篮弹性变形发生在混凝土成塑性状态前，以防产生裂纹。

四是进行挂篮开模操作。当挂篮浇筑到吊杆锚固块时，要在横向开模 80-85cm 后才能移动，挂篮开模顺序如下：侧模脱模，安装走行梁后吊杆，下降走行梁吊杆时侧模脱落；侧模横向开模中，要在前横梁和中横梁上安装一台穿心式千斤顶，利用螺纹钢固定在横梁上，同时千斤顶 L 梁上端应套在横梁矩形套箱上；还要进行前横梁以及中横梁千斤顶操作，梁体缓慢移动带动外侧模完成开模，当两者移动不用步时要检查横梁间隙或上端套箱是否存在缺陷。为了保证开模施工安全性，要保证两侧开模同时进行。

五是在挂篮走行操作中，同一 T 构两端挂篮应同步走行，走行由两台千斤顶迁移桁架并驱动底模平台、侧模共同前移。首先要安装垫枕和扁担梁，然后接长轨道，安装千斤顶。调节底模平台横梁和桁架挑架间的钢丝绳长度，以便满足横梁吊点调整需要。最后下降平台吊杆，将底模平台衡量悬吊在桁架挑架上。下降走行梁吊杆，将走行梁吊点转变到吊环上，将吊环拆除。拆除后锚杆后，挂篮抗倾覆力会转移到支座上。还要调整挂篮横梁和开模千斤顶方向，操作 L 梁和千斤顶实现合模。

结构简单，操作容易是开模式挂篮施工主要优点，开模式挂篮施工需要增加挂篮开合模工序，在挂篮左右两侧主构架增加中横梁，然后利用前横梁和中横梁，在外模上增加两根“L”梁，利用 L 梁驱动外模横向移动，使其离开吊杆外锚固块，使挂篮得以前行。开模式挂篮悬臂浇筑连续梁解决了因在梁体腹板设置外凸块普通挂篮因不能横向大幅开模，脱模后因腹板外凸块阻碍，挂篮不能前移限制挂篮使用问题，使挂篮悬臂浇筑连续梁优势得以发挥，体现出工艺流程清晰、速度快、可操作性强、效益好，精度高、安全风险低等优点，能够现工程项目管理目标。

4 施工流程

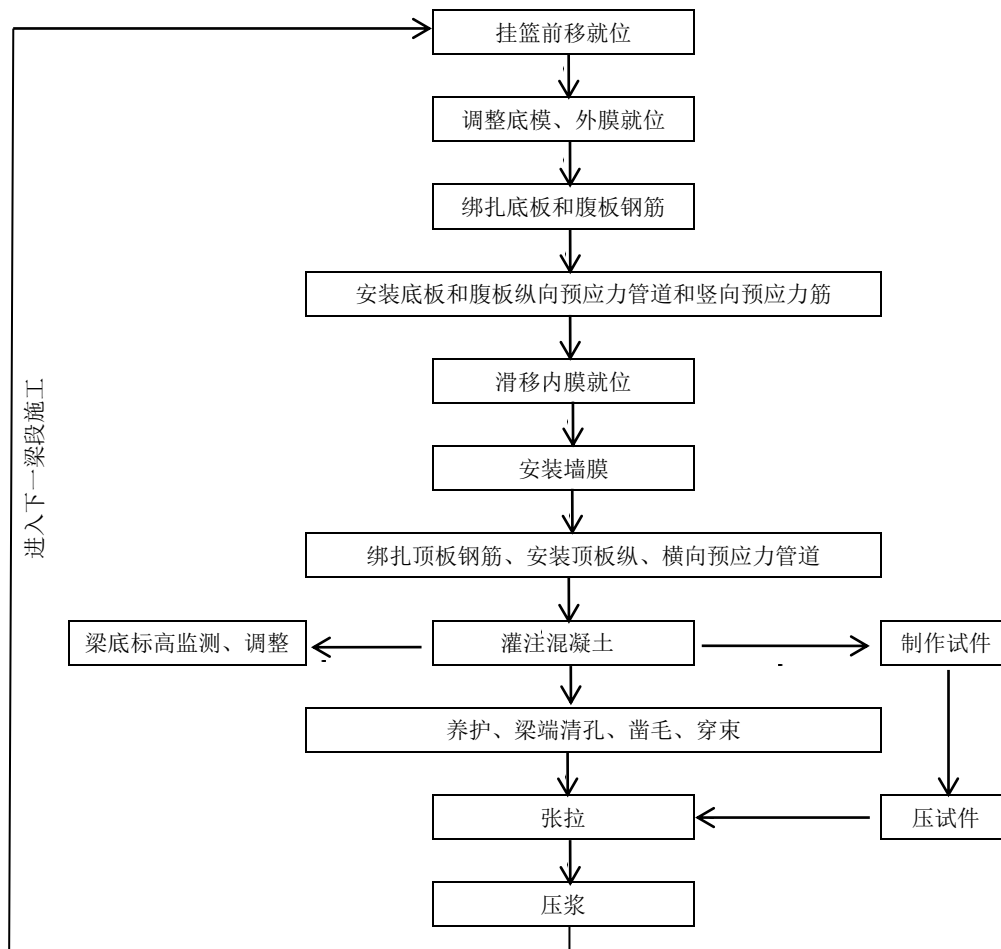


图 5 连续梁悬臂混凝土灌注施工流程图

进行连续梁段施工过程中,要按照以下施工程序进行:前移并调节挂篮;固定底板和腹板钢筋,设置预应力管道;安装内模;绑扎钢筋;测量审核;浇筑混凝土;张拉纵向和竖向钢筋;移动挂篮,进行下一个梁端施工。挂篮由三角形桁架、模板系统、底模平台、悬吊系统、走行系统、锚固系统组成。进行挂篮设计时,要注意中跨挂篮设置开模装置。主桁架是一个受力结构,组成部分包括两榀三角形桁架、联结系等,桁架杆件由槽钢焊接组成,节点位置使用承压型螺栓联结,将竖向联结系放置在桁架竖杆上,增强桁架整体稳定性。底模平台构件用来承受混凝土重量,为浇筑施工、钢筋绑扎等提供场地,主要构成部分包括前后横梁、底模板、桁架等^[1]。

模板系统是挂篮结构中的主要组成部分,外侧模为大块钢模板,内侧模由竹胶板构成,内部是抽屉式结构;悬挂系统用来悬吊底模、内模、外模,将这些构件自重、混凝土重量和施工荷载传递至梁段上。底模平台在吊带作用下悬吊在横梁上,由于横梁上设置调节装置,便于进行底模标高调整。外模和内模走行梁吊杆构件采用螺栓钢筋绑扎,吊杆两端采用锚具固定;在锚固系统中,设置3根扁担梁和6根后锚杆,起到平衡混凝土浇筑中产生的倾斜力矩,提高施工安全性,锚固系统传力途径如下:主桁架节点一扁担梁一后锚杆一竖向粗钢筋。当侧模安装完毕后,再安装L梁。模板、桁架的安装,除顶板和腹板的横肋须一次拼装就绪外,腹板部份的竖肋按箱梁块件长度拼装。每个梁段施工前调整内模的横向位置,使之满足箱梁腹板厚度的线性变化。与普通挂篮模板不同之处在于本挂篮可通过前后横梁带动L梁实现侧模外移的功能,便于连续梁施工作业。

5 桥梁连续梁悬臂段施工可靠性保障措施

采用开模式挂篮施工技术并开始浇筑后面节段施工中,要注意以下几点:

一是挂篮具有一定刚度、强度与稳定性,以免由于挂篮弹性变形引起快件结合面出现裂纹,完成挂篮拼接后进行质量检测,要求最大挠度不超过2cm,尽可能去除变形影响,同时要记录预压过程中挂篮的变形曲线,为之后的施工质量控制提供借鉴;

二是完成挂篮安装后进行预压试验,在加载压力前,要对吊带和后锚进行检验,建立施工时间中的检查制度,保障开模式挂篮的安全性。同时挂篮吊篮要方便调整,当前段挠度超过设定值时,应进行合理调节;

三是浇筑施工前,应针对桥墩和0号节段高程和位置情况等进行全方位检查^[3]。

四是箱梁浇筑过程中,进行梁段混凝土浇筑、挂篮移动或者钢束张拉时,应坚持均衡、对称的原则,尽可能避免在梁面上堆放机具或材料等,要做到对称摆放,还要求施工中横向、纵向间的荷载差异不超过规定值;

五是进行块件浇筑时要保证浇筑顺序的合理性,顶板和腹板混凝土要向已浇筑快件方向浇筑,控制好浇筑时间,避免出现新旧混凝土连接位置出现裂缝等问题;

六是箱梁合拢顺序要按照设计图纸进行,安装内外刚性支撑,浇筑阶段应卸除混凝土压重重量,直到混凝土强度达标后可张拉钢束。

为了保证开模式施工有效性,还应进行应力量测和挠度监测。在悬臂箱梁浇筑过程中,及时监测临时支撑和箱梁关键断面的应力变化,掌握结构的受力状态,为评估结构的安全和施工安全提供依据。箱梁的主要量测部位有:箱梁根部断面处;箱梁腹板变化厚度的断面处;箱梁中跨合拢段处的断面;临时支撑结构的应力;其他控制截面。

6 结论

综上所述,在桥梁连续梁施工中,要注重挂篮施工技术的合理选择,实践表明,采取开模式挂篮施工工艺有利于提高梁拱组合结构连续梁施工效益,对桥梁施工发展起到促进作用。因此,本文加大了对这一施工手段的研究,结合工程施工实践经验探讨开模式挂篮施工工艺应用特点和优化路径,为梁拱组合结构连续梁施工高质量进行提供技术支持。

[参考文献]

[1]江山.高速铁路桥梁连续梁工程技术要求及施工后果控制[J].建筑技术开发,2019,46(09):136-137.

[2]全惠萍.宽幅双箱单室箱梁施工挂篮系统研究[D].西安:长安大学,2018.

[3]光军伟.连续箱梁桥挂篮施工监控关键技术研究[D].郑州:郑州大学,2017.

作者简介:陈彦发(1975.8.25-),男,毕业院校:中南工业大学,所学专业:公路与城市道路,职务:中铁十一局集团有限公司昭通指挥部副指挥长兼总工程师,职称级别:工程师。