

# 高铁隧道新型自行式仰拱栈桥施工技术

汪平

中铁十八局集团第三工程有限公司,河北 涿州 072750

**摘要:**为解决传统自行式仰拱栈桥结构复杂、操作不灵活、设备技术不成熟、造价高等诸多问题,比较分析国内外高速铁路隧道仰拱栈桥运行方式和优缺点,依托在建的贵南高铁九万大山一号隧道,结合桥跨式和悬挑式2种栈桥的优点进行优化设计,采用配置全弧模板和中心水沟模板的新型自行式液压仰拱栈桥,并采用全弧模板和中心水沟模板一体化设计。实践证明:此新型栈桥操作更安全、更方便,提高了隧道仰拱与中心水沟及仰拱的施工效率,保证仰拱的施工质量,节约成本,减轻劳动强度。

**关键词:**高铁隧道;仰拱施工;全环弧形模板;液压行走;中心水沟模板

中图分类号:U455.4

文献标志码:A

文章编号:1672-0032(2022)01-0059-08

引用格式:汪平. 高铁隧道新型自行式仰拱栈桥施工技术[J]. 山东交通学院学报,2022,30(1):59-66.

WANG Ping. Construction technology of a new self-propelled inverted arch trestle in high-speed railway tunnel[J]. Journal of Shandong Jiaotong University,2022,30(1):59-66.

## 0 引言

仰拱施工平稳推进,不影响开挖作业是高铁隧道按期施工的关键。目前,隧道施工中自行式仰拱栈桥得到广泛运用,但传统的自行式仰拱栈桥设备结构复杂,操作不灵活,技术不成熟,成本高。本文结合在建贵南高铁九万大山一号隧道,引入一种采用固定全圆弧模板和中心水沟模板的新型自行式液压仰拱栈桥<sup>[1]</sup>,将桥跨式和悬挑式2种结构的栈桥优化结合,以期提高施工质量和进度。

## 1 自行式仰拱栈桥分类

自行式仰拱栈桥按照行走方式和结构形式可分为多种类型。

### 1.1 按行走方式分类

自行式仰拱栈桥按行走方式可分为履带式、步履式、轨道式和胶轮式4种类型。

履带式自行式仰拱栈桥的履带底盘设置在栈桥前部,被动拖轮设置在栈桥后部,栈桥由履带牵引连续向前移动<sup>[2]</sup>。履带底盘位于仰拱开挖基坑中,掘进推进时,栈桥只能前进不能后退。履带底盘一般长2.5 m左右,当基坑作业跨度超过12 m时,须增加栈桥长度才能完成施工,施工成本高<sup>[3]</sup>。

步履式仰拱栈桥是履带式仰拱栈桥的改进形式,无须人工铺设钢轨,仰拱栈桥通过支腿与轨道间的支撑物交换,完成轨道与栈桥的相对运动,进行反复操作向前移动。步履式仰拱栈桥机械化程度提高,劳动强度降低,但行走进度缓慢,操作复杂<sup>[3]</sup>。

轨道式仰拱栈桥采用传统衬砌台车在隧道内的行走方式,需要人工在行走方向铺设钢轨引导作业,对仰拱基坑的基础,即隧道底部平整度要求较高。轨道式仰拱栈桥因隧道掘进距离要求需经常倒轨,钢轨运输频繁,劳动强度高,机械化程度低,施工工序繁琐<sup>[4-5]</sup>。

胶轮式仰拱栈桥采用液压马达驱动实心橡胶轮胎在已施工的高架坑洼中主动行走和后退,无须辅助

收稿日期:2021-09-27

作者简介:汪平(1982—),男,辽宁东港人,工程师,主要研究方向为桥梁、隧道施工,E-mail:81603353@qq.com。

设施,可连续行走,不受底座限制,但设备结构复杂,技术难度高,施工要求高。

## 1.2 按结构形式分类

自行式仰拱栈桥主要由主桥、前引桥及后引桥等构成,根据跨越隧道基坑的结构形式分为桥跨式、悬挑式2种自行式仰拱栈桥<sup>[6-7]</sup>。

桥跨自行式仰拱栈桥的主桥跨越隧道基坑,主桥紧密连接前后引桥的一端,另一端位于掌子面台阶与仰拱填充面上部,在确保隧道开挖衬砌安全距离的前提下可实现大跨度作业。

桥跨自行式仰拱栈桥结构如图1所示。该结构前支腿在基坑下方,受基坑环境等制约,桥跨自行式仰拱栈桥的行走灵活性和速度受到限制<sup>[8]</sup>。栈桥进入或移出隧道基坑时须配置辅助坡道,还需拆除部分栈桥结构。隧道仰拱施作时,如果工艺变化或栈桥出现故障,栈桥系统无法实现快捷进出,严重制约隧道工期<sup>[9]</sup>。

悬挑自行式仰拱栈桥借助前引桥跨越基坑,主桥和后引桥均位于仰拱填充位置,栈桥在仰拱填充位置行走,隧道工作面的开挖和基坑的施作对悬挑自行式仰拱栈桥都不产生过多干扰<sup>[10]</sup>。悬挑自行式仰拱栈桥主桥具有动力控制装置,可及时进入或移出隧道仰拱基坑,操作便捷。栈桥自行式前引桥借助后引桥及主桥的配重实现悬挑,后引桥和主桥的配重影响前引桥横越基坑的长度,栈桥的总长超过40 m,偏长<sup>[11]</sup>,如图2所示。

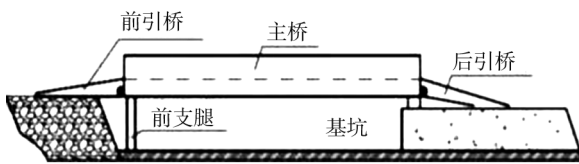


图1 桥跨自行式仰拱栈桥结构示意图

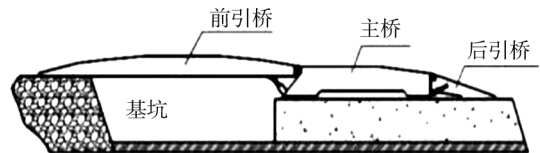


图2 悬挑自行式仰拱栈桥结构示意图

## 2 新型自行式仰拱栈桥优化设计

将悬挑式、桥跨式2种自行式仰拱栈桥结合进行优化设计,研制轮胎行走悬挑式仰拱栈桥和步履行走桥跨式仰拱栈桥,还可配置固定全弧模板和中心水沟模板,构建一种配置固定全弧模板和中心水沟模板的新型液压自动行走式栈桥<sup>[12]</sup>。

### 2.1 轮胎行走悬挑式仰拱栈桥

轮胎行走悬挑式仰拱栈桥操作方便灵活、体积小、步行比较平稳,适用于隧道岩层差、安全台阶短、施工空间和设备转移方便的隧道<sup>[13]</sup>。

#### 2.1.1 主体结构

整个桥面由钢板焊接而成,各部分连接桥由悬臂结构连接,由液压缸控制前、后引桥的抬起和下落,如图3所示。

整个栈桥不受基坑环境干扰,易于调整桥梁的前向、后向和横向运动<sup>[14]</sup>。整个结构最大压应力为315 MPa,位于前桥墩根部,设计制造时需要局部加强;最大拉应力为140 MPa,阻止垂直变形的能力较强。可移动的牵引小车配置在前引桥下方位置,便于附属结构展开施作,实现移动<sup>[15]</sup>。

后引桥为主桥的坡道结构,与主桥坡度弧形连接平稳过渡,内部采用实心填充结构,对整个栈桥起配重作用<sup>[16]</sup>。

#### 2.1.2 行走系统

轮胎行走悬挑式仰拱栈桥设置为四轮行走形式,主桥两侧下部配置4个轮子,栈桥后轮为从动轮,具备转向及提升能力;栈桥前轮为驱动轮,具备驱动和升降能力;轮胎是实心轮胎,成本低,可通过电脑程序实现远程控制。此行走方式确保主桥结构紧凑,栈桥高度适中,前进或后退速度较稳定,操作灵活<sup>[17]</sup>。

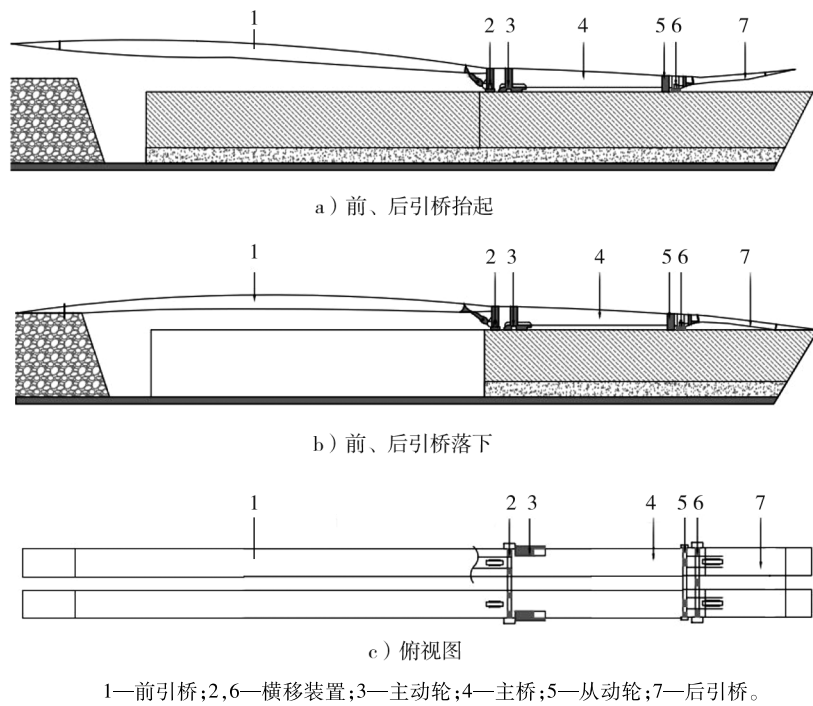


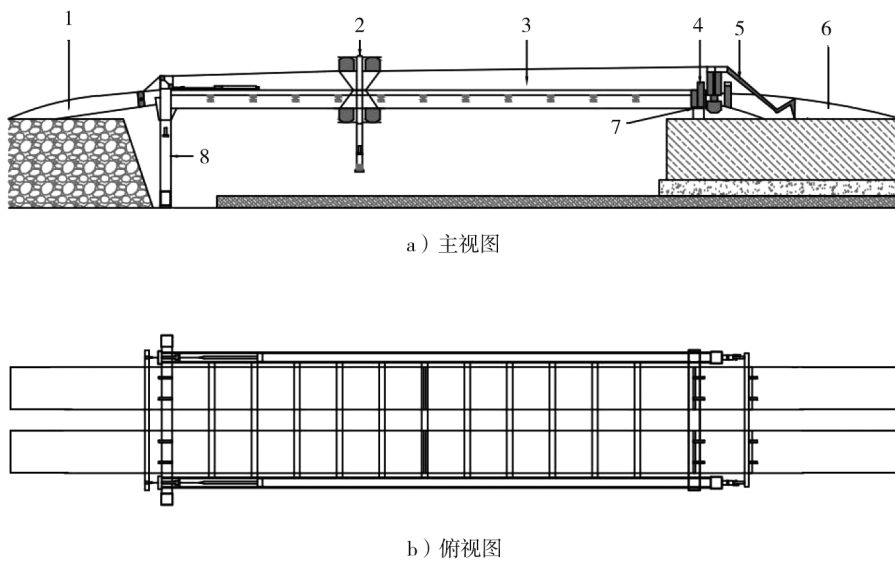
图3 轮胎行走悬挑式仰拱栈桥

### 2.2 步履行走桥跨式仰拱栈桥

步履行走桥跨式仰拱栈桥的跨越基坑超过 38 m,主桥截面单一,增减长度方便,适用于围岩状况较好、安全步距长的隧道<sup>[18-19]</sup>。

#### 2.2.1 主体结构

步履行走桥跨式仰拱栈桥主要结构为主桥、前后引桥、前后支腿和中支腿等,如图4所示。



1—前引桥;2—中支腿;3—主桥;4—中支腿动力系统;5—后轮行走装置;  
6—后引桥;7—前支腿;8—后支腿。

图4 步履行走桥跨式仰拱栈桥

为确保栈桥保持一定稳定性和足够的承载力,主桥纵向主梁设计为箱梁结构形式,横向梁借助 D 型施工便梁结构进行有效组合衔接,同一种结构可实现 12、24 m 2 种跨度<sup>[20]</sup>。前后引桥设计为拉升结构,

借助液压油缸进行动力提升,运行较平稳,安全性较高。

将平移油缸栈桥配备在中间横梁处,前支腿通过龙门型结构确保栈桥主体前部实现有效平移;中支腿为H型结构,配置上下导轨轮,借助轮箱的驱动牵引,在主桥导轨上实现中支腿前后移动;后支腿通过升降支腿和驱动轮箱一体化结构形式,落下支腿后转动驱动轮箱,实现栈桥的移动<sup>[21]</sup>。

### 2.2.2 辅助系统

除了主体结构,步履行走桥跨式仰拱栈桥还包括行走、液压、自动控制等辅助系统。

1)行走系统 栈桥借助驱动轮箱及中支腿的交替运动实现行走。驱动轮箱通过减速机驱动聚氨酯轮胎有效运转,牵引栈桥前后移动。主桥后方配置中支腿驱动轮箱,前端配置被动张紧轮箱,两者借助链条有效连接中支腿,通过驱动轮箱带动链条牵引中支腿,顺着主桥上的导轨实现有效移动<sup>[22]</sup>。

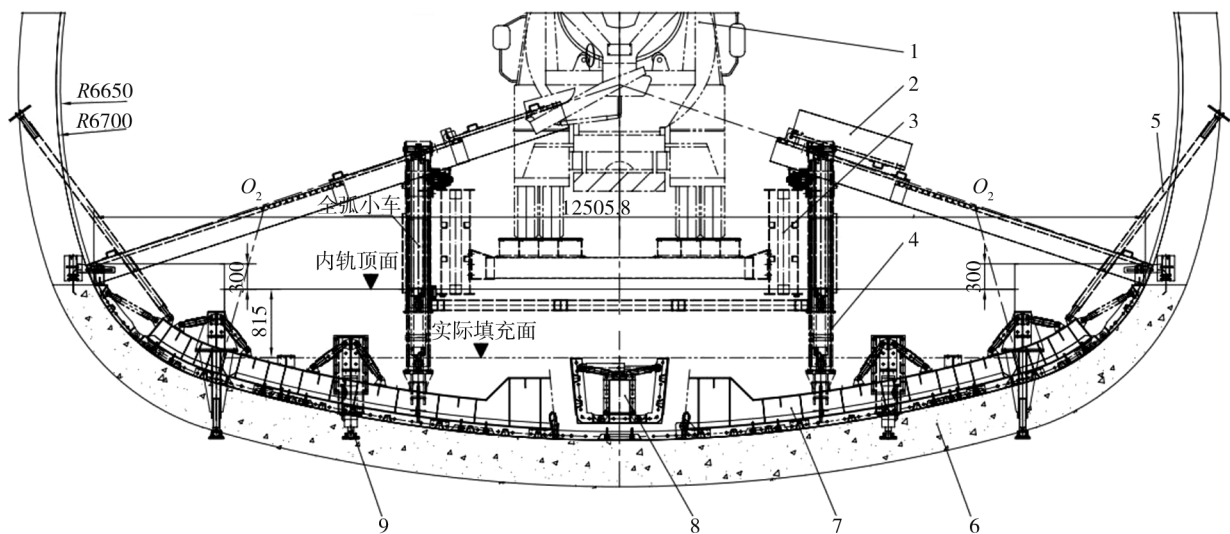
2)液压系统 栈桥的升降和后引桥的下降均由液压系统控制。油缸设有液压锁或平衡阀,确保油缸平稳、同步启动,使用安全性大大提高。液压站控制阀组均借助电磁控制阀进行回路控制及远程控制<sup>[23]</sup>。

3)自动控制系统 可编程逻辑控制器(programmable logic controller, PLC)由控制柜、无线遥控器等组成,有无线遥控功能,配备有线控制手柄,自动控制系统不仅可以自动备份,还能实现设备自动控制、设备监控、故障报警与处理、远程控制等功能,保证油缸在满足逻辑要求的条件下动作,有效防止误操作造成损坏。分布在设备上的传感器可监控设备状态,并在发生故障时发出报警信号。遥控器可远程操作设备,操作人员可在安全距离和需要观察定位状态的位置操作设备,操作方便安全<sup>[24]</sup>。

### 2.3 新型自行式液压仰拱栈桥

为提升隧道仰拱与中心水沟及仰拱的施工效率,保证仰拱的质量,新型自行式液压仰拱栈桥配置全弧模板和中心沟模板。

新型液压栈桥包括主桥体、前桥和后桥、全弧仰拱模板、脱模装备、防上浮设备和溜槽、起升装置、自动平衡系统等结构,长41 m,宽6 m,高2 m,借助实心橡胶轮行走,配置前、后、左、右4个支点,借助液压、电脑程序和电气控制,实现前、后、左、右开展横向运动。通过车辆宽度为3.5 m,行驶速度为6 m/min,栈桥整机功率为20 kW。新型自行式液压仰拱栈桥结构如图5所示。



1—运输罐车;2—溜槽;3—栈桥;4—移模小车;5—防上浮设备;6—仰拱层混凝土;7—全弧仰拱模板;8—中心水沟模板架;9—脱模系统。  
单位:mm

图5 新型自行式液压仰拱栈桥结构示意图

模板部分主要结构为全弧仰拱模板、液压移模台车、中心水沟模板、液压脱模装置及防浮起设备和溜槽等。全弧仰拱弧形模板通常由侧壁部分的上弧模板及隧道底部部分的下弧模板通过铰座耳铰接而成<sup>[25-26]</sup>,由3个螺栓连接组成下全弧模板,仰拱曲面通过上弧模板、下弧模板等曲面模板开展控制。在

弧形模板上部设置弧形梁,梁高 50 cm,宽 30 cm,弧形梁间距为 20 cm,弧形模板可以整体连接。弯梁左右两侧各有纵梁,纵梁采用 45a 工字钢,接头部分加强。中央天沟模板通过 6 mm 钢板与槽钢组合而成。防顶装置间隔 2 m,对称布置在两侧墙上。新型栈桥俯视效果如图 6 所示。

#### 2.4 新型栈桥优势

将优化后的新型栈桥与其他自行式仰拱栈桥功能、特点进行分析对比,如表 1 所示。

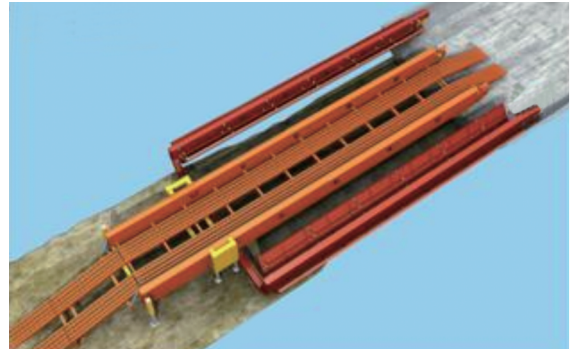


图 6 新型栈桥俯视效果图

表 1 新型栈桥与其他自行式仰拱栈桥特点分析对比

栈桥种类	连续行走	平移	从基坑退出	结构复杂	设备体积庞大	设备购置费	灵活性	提升仰拱与中心水沟施工效率
轨道式	否	否	否	是	是	低	否	否
胶轮式	能	能	能	否	否	一般	是	否
履带式	能	否	否	是	是	高	是	否
步履式	否	能	能	否	否	一般	是	否
新桥跨式	否	能	能	否	否	一般	是	否
新悬挑式	能	能	能	否	否	一般	是	否
配置全弧模板和中心水沟模板的新型栈桥	能	能	能	是	是	较高	是	是

### 3 应用案例

#### 3.1 工程简介

贵南高铁九万大山一号隧道是全线重难点控制性项目,属于 I 级风险隧道,总长 17.012 km,为实现建设任务,有效攻克隧道长大距离排风、排水施工要求,采用 1 条横洞-1 条泄水洞-2 个通风竖井-1 条出口平导综合施工方式。横洞工区和出口工区间控制工期,包括正洞长 14 060 m,横洞长 575 m,排水横通道长 185 m,及泄水洞长 4685 m 等。

#### 3.2 新型栈桥

九万大山一号隧道进口大多为 IV、V 级软弱围岩,出于安全考虑,采用配置全圆弧模板和中心水沟模板的 YQS-60 型自行式液压仰拱栈桥,主要参数为:长度为 38.1 m(或 28.6 m),宽度为 5.6 m,高度为 1.7 m,设计通过最大载荷为 60 t,通过车辆形式为胶轮或履带式车辆,通过车辆外部最大宽度为 3.45 m,通过电动或液压方式进行控制,行走方式为自行式,步履长度为 6 m,平均行走速度为 8 m/min,升降速度为 0.5 m,整机功率为 12.5 kW,跨度净空为 25.5 m(或 15.5 m)。设计荷载时,将桥跨式和悬挑式 2 种结构形式的栈桥优化结合,操作更安全、方便。

#### 3.3 关键工序施工步骤及操作要点

隧道仰拱与中心水沟机械化高效施工工艺流程为:架设栈桥→开挖和清理隧道底部→仰拱底初期支护→防排水施工→绑扎仰拱钢筋→调整全弧模架系统,确保精准就位→浇注仰拱混凝土→脱模后通过液压系统提升全弧模板→滑移中心水沟模板准确就位→填充浇筑混凝土→养护混凝土→脱模处理中心水沟模板。

### 3.3.1 自行式液压栈桥组装

在工厂制造完成自行式液压栈桥后,运至现场,采用吊车吊起部件。根据隧道入口现场施工的实际情况,在隧道入口段 50 m 处组装行走装置。调试后启动行走装置进入隧道。

### 3.3.2 栈桥移动就位

由行走装置推动,调整升降支脚的高度和仰拱模板两侧高度,调整栈桥系统前端横向装置的横向移动和仰拱模板的横向位置。反复操作确保栈桥精准就位。

### 3.3.3 全弧仰拱模板安装定位

全弧仰拱模板固定在钢架上,模板结构由 3 个大钢模组成,通过铰链连接每个模板,翻折折叠后进行安装和拆卸。按照测量结果,通过液压缸系统进行全方位调整,依据上一组仰拱端面和本组仰拱端模放置的标高点确定标高后对圆弧模板准确定位,采用螺钉加固,以免全弧模板在浇筑混凝土时出现位移。安装时,仰拱底座应圆润光滑,模板应安装在测量的同一部分,止水带置于中央。

### 3.3.4 仰拱开挖和钢筋绑扎

仰拱从前向后挖掘,需及时清理基部的浮土、石渣和积水等杂物。仰拱衬砌钢筋通过工厂化集中加工,完成构件成型后运输到隧道施工工地,按照规范尺寸仔细绑扎和焊接,确保钢筋构件的间距、长度都符合设计规范要求(仰拱主筋和连接筋纵向间距都为 200 mm,分布筋间距为 250 mm,连接筋环向间距为 250 mm),通常Ⅳ类及以上围岩地段,钢筋构件长度匹配基坑长度不超过 5.0 m。而Ⅲ类及以下围岩地段,钢筋构件长度匹配长度不超过 10 m。如果围岩条件很好,钢筋构件长度匹配基坑最大长度不应超过 15 m。

### 3.3.5 定模浇筑及振捣

仰拱在浇筑混凝土时,浇筑顺序为从隧道底部到两侧侧壁,用绳桶浇注底部,用滑槽浇注侧壁。施工中控制混凝土浇筑速度(2.5 m/h 左右),不断振捣确保混凝土施工质量,在全弧仰拱模板上设混凝土浇筑窗,为施工方便,加工全弧仰拱板时将振动器配置在曲面模板上。振捣时确保混凝土均匀,防止过度振动或泄漏。把振动器慢慢拉出,不要留有气孔。振动器不能接触模板、钢筋和预埋件,确保模板、钢筋和预埋件不受影响。插入振动完成后,先后开启附着式振捣器。

### 3.3.6 仰拱脱模

待仰拱 C20 混凝土强度达到 8 MPa 脱模强度后,取下丝杠,用油缸提升倒圆弧模具,完成脱模操作。完成仰拱施工后,清理仰拱模板上的混凝土和杂物,打开相关伸缩杆,保证模板位于自然状态,同时进行校正。

### 3.3.7 中心水沟模板就位

中心水沟整体模架为液压模板和模架连体式构造,借助栈桥自动走行装置的制动以及引领作用,通过液压系统进行中心水沟模板的支模和脱模作业。定好中心水沟模板位置,按照仰拱填充端模,施工浇注仰拱填充混凝土。

采用新型液压栈桥每个循环周期节省施工时间 10 h,每板(12 m)可节省大约 0.6 t 的模板定位钢筋。

## 3.4 新型栈桥工装优点

由电脑程序集中处理各个信号的程序,实现各个执行部件的手动独立动作、集中自动控制及各个信号的监控和报警处理。

产品采用模块化设计,主要部件独立成块,可根据实际定制。可配置触摸屏无线控制,方便操作者在合适的位置操作设备,操作更安全、更灵活。

安装仰拱栈桥后可完成同一座隧道的全部仰拱施工,节省模板的拼装及拆模操作,由全自动设备进行行走和定位,大大减轻了施工人员的劳动强度,降低人力成本,有效提高了施工效率和工程质量。

端梁应用于中央天沟模板及固定仰拱模板,移动时能有效配合模板系统,确保整个系统形成一个有效整体,实现准确定位。

## 4 结语

本文依托在建贵南高铁九万大山一号隧道项目,对仰拱栈桥设备开展研究,为满足多种工况的要求,引入采用固定式全圆弧模板和中心水沟模板的新型自行式液压仰拱栈桥,将桥跨式和悬挑式2种自行式栈桥结合,采用电脑控制程序和液压控制系统提供更安全可靠的作业方式。此桥有效地克服了目前仰拱栈桥设备的缺点,节约了物资采购成本,加快了施工速度,减轻劳动强度,确保设备作业安全,提高了施工质量。

### 参考文献:

- [1] 时安琪,王柏松,武家欣,等. 24 m履带自行式仰拱栈桥与半幅仰拱模板联合设计的研究与应用[J]. 机械工程师, 2020(3):127-129.  
SHI Anqi, WANG Baisong, WU Jiaxin, et al. Collaborative design and application of 24 m caterpillar self-propelled inverted trestle and semi-range invert formwork[J]. Mechanical Engineer, 2020(3):127-129.
- [2] 刘顺成. 自行式仰拱栈桥研究与设计[J]. 铁道建筑技术, 2020(6):76-79.  
LIU Shuncheng. Research and design of self-propelled inverted arch trestle[J]. Railway Construction Technology, 2020(6):76-79.
- [3] 井发岳. 一种大跨距自行式隧道仰拱栈桥的研究与应用[J]. 石家庄铁道大学学报(自然科学版), 2018, 31(增刊2):174-177.
- [4] 田晓峰. 长大隧道自行式移动仰拱栈桥研制及施工技术[J]. 施工技术, 2017, 46(15):120-123.  
TIAN Xiaofeng. Long tunnel self-propelled mobile inverted arch trestle development and construction[J]. Construction Technology, 2017, 46(15):120-123.
- [5] 武明静. 万荣隧道24 m自行式仰拱栈桥施工技术研究[J]. 铁道建筑技术, 2017(8):84-87.  
WU Mingjing. Research on the construction technology of 24 m self-propelled inverted arch trestle in Wanrong Tunnel[J]. Railway Construction Technology, 2017(8):84-87.
- [6] 王红亮. 膨胀土条件下大断面隧道初支优化与变形控制[J]. 中国水能及电气化, 2021(4):17-21.  
WANG Hongliang. Initial support optimization and deformation control of large cross-section tunnels under expansive soil condition[J]. China Water Power and Electrification, 2021(4):17-21.
- [7] 张光明,邓君,吕虎. 隧道仰拱作业区快速施工技术[J]. 机电工程技术, 2021, 50(7):179-180.  
ZHANG Guangming, Deng Jun, LÜ Hu. A rapid construction technology of tunnel inverted operation area[J]. Mechanical and Electrical Engineering Technology, 2021, 50(7):179-180.
- [8] 王荣山. 重载铁路特长单线隧道长仰拱施工技术研究[J]. 铁道建筑技术, 2019(1):98-100.  
WANG Rongshan. Construction technology research on long inverted arch in extra-long single-track tunnel of heavy-haul railway[J]. Railway Construction Technology, 2019(1):98-100.
- [9] 苏辉. 蒙华铁路万荣隧道粉细砂地层施工关键技术[J]. 隧道建设(中英文), 2020, 40(增刊2):225-232.  
SU Hui. Key construction technologies for Wanrong Tunnel of Menghua railway crossing silty-fine sand stratum[J]. Tunnel Construction, 2020, 40(Suppl. 2):225-232.
- [10] 张光明. 大跨度伸缩式仰拱栈桥设计及应用[J]. 铁道建筑技术, 2021(1):97-100.  
ZHANG Guangming. Design and application of long-span telescopic invert trestle[J]. Railway Construction Technology, 2021(1):97-100.
- [11] 黄辉. 高速铁路隧道自行式液压仰拱栈桥快速施工工法研究[J]. 工程技术研究, 2020, 5(18):82-83.
- [12] 郑怀臣. 自走式隧道仰拱栈桥的走行方式研究[J]. 工程建设, 2016, 48(7):55-59.  
ZHENG Huaichen. Study on traveling mode of self-propelled invert arch trestle of tunnel[J]. Engineering Construction, 2016, 48(7):55-59.
- [13] 边鹏飞,任浩,王善高. 全自动液压栈桥式仰拱移动模架一体机施工技术研究[J]. 隧道建设(中英文), 2018, 38(增刊2):345-350.  
BIAN Pengfei, REN Hao, WANG Shangao. Research on integrated-machine construction technology of full-automatic

- hydraulic trestle-bridge-type inverted mobile formwork[J]. Tunnel Construction, 2018,38 (Suppl. 2):345-350.
- [14] 中铁二院工程集团有限公司. 铁路隧道设计规范:TB 10003—2016[S]. 北京:中国铁道出版社,2017.
- [15] 吴相斌,刘兴波,哈建波. 单线铁路隧道仰拱栈桥与仰拱模板一体化研制与应用[J]. 建筑机械化,2019,40(1):61-64.  
WU Xiangbin, LIU Xingbo, HA Jianbo. Development and application of single track railway tunnel inverted arch trestle and invert formwork[J]. Construction Mechanization, 2019,40(1):61-64.
- [16] 谭杨辉,丁辰昱,周权,等. 24 m全自动液压仰拱栈桥的研发与应用[J]. 建筑机械,2018(10):96-100.  
TAN Yanghui, DING Chenyu, ZHOU Quan, et al. Research development and application of 24 m automatic hydraulic invert trestle[J]. Construction Machinery, 2018(10):96-100.
- [17] 杨然. 自行式仰拱栈桥设计及施工技术研究[J]. 中国公路,2017(14):101-103.
- [18] 刘京瑞. 隧道机械化作业对工程降造的影响[J]. 中国建材,2017(6):131-133.
- [19] 盛重权,张江涛. 隧道仰拱机械设备配套快速施工技术[J]. 施工技术,2013,42(增刊2):217-219.  
SHENG Zhongquan, ZHANG Jiangtao. Discussion on rapid construction method of a complete set of mechanical equipment for tunnel invert[J]. Construction Technology, 2013,42(Suppl. 2):217-219.
- [20] 褚振礼. 隧道仰拱结构支护性能研究[D]. 西安:长安大学,2016.  
ZHUO Zhenli. Research on the supporting performance of tunnel invert structure[D]. Xi'an:Chang'an University, 2016.
- [21] 关宝树. 漫谈矿山法隧道技术第十一讲:谈隧道施工机械化[J]. 隧道建设,2016,36(10):1163-1170.  
GUAN Baoshu. Tunneling by mining method;lecture XXI;mechanization of tunnel construction[J]. Tunnel Construction, 2016,36(10):1163-1170.
- [22] 蒋晖光,陈文超. 隧道仰拱长栈桥施工应用[J]. 隧道建设,2012,32(增刊2):187-189.  
JIANG Huiguang, CHEN Wenchao. Construction and application of long invert trestle of tunnels[J]. Tunnel Construction, 2012,32(Suppl. 2):187-189.
- [23] 林立文. 液压移动仰拱栈桥施工技术研究[J]. 公路,2020,65(8):424-427.
- [24] 吴梦军,吴庆良. 山岭公路隧道机械化施工现状与展望[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版),2020,39(3):14-21.  
WU Mengjun, WU Qingliang. Present situation and prospect of mechanization construction of mountain highway tunnels[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University(Natural Science Edition), 2020,39(3):14-21.
- [25] 罗丹. 自行式仰拱栈桥应用工法[J]. 工程技术研究,2018(14):43-44.
- [26] 杨伟东. 基于隧道仰拱和填充充分开施工的自带曲模自行式仰拱栈桥研制及应用[J]. 甘肃科技纵横,2018,47(5):26-28.

## Construction technology of a new self-propelled inverted arch trestle in high-speed railway tunnel

WANG Ping

The Third Engineering Co., Ltd. of China Railway 18th Bureau Group, Zhuozhou 072750, China

**Abstract:** In order to solve the problems for the traditional self-propelled inverted arch trestle in inflexible operation, immature equipment technology and high cost, by comparing and analyzing the operation modes, advantages and disadvantages of inverted arch trestle in high-speed railway tunnel at home and abroad, relying on the Jiuwan Dashan No. 1 tunnel of Guinan High-Speed Railway under construction, combined with the advantages of span trestle and cantilever trestle, a new automatic walking hydraulic inverted arch trestle equipped with full arc formwork and central drainage formwork is adopted, and the integrated design of full arc formwork and central drainage formwork is used. Practice has proved that, the new trestle is safer and more convenient to operate, which improves the construction efficiency of tunnel inverted arch, central ditch and inverted arch, and ensures the construction quality of inverted arch, and saves cost and reduces labor intensity.

**Keywords:** high speed railway tunnel; inverted arch construction; full ring arc formwork; hydraulic walking; central ditch formwork

(责任编辑:郭守真)