

文章编号: 1674—8247(2022)05—0107—04

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2022.05.021

玉磨铁路隧道整体配套移动栈桥仰拱施工技术研究

陈秦浣¹ 王庆建² 崔光耀¹

(1. 北方工业大学, 北京 100144; 2. 中铁隧道集团四处有限公司, 南宁 530000)

摘要:为进一步确保隧道施工关键步骤仰拱施作安全高效的进行,本文依托玉磨铁路隧道工程,提出一种隧道整体配套移动栈桥仰拱施工新技术。研究表明:(1)该栈桥不仅有效解决了栈桥移动和施工工序相互干扰的问题,还实现了仰拱的快速安全施工;(2)经过结构验算,栈桥主梁和横梁端板连接螺栓均满足强度要求;(3)利用整体配套移动栈桥施作仰拱时模型定位精准便于浇筑,操作简单,节约人力物力,经济有效。研究成果可为隧道仰拱安全施工提供新型技术支持。

关键词:隧道工程;仰拱施工;新型栈桥;结构稳定性

中图分类号:U455.4 **文献标识码:**A

Study on Construction Technology of Inverted Arch of Yuxi-Mohan Railway Tunnel by Using the Integrated Supporting Movable Trestle

CHEN Qinlong¹ WANG Qingjian² CUI Guangyao¹

(1. North China University of Technology, Beijing 100144, China;
2. China Railway Tunnel Group, Nanning 530000, China)

107

Abstract: In order to further ensure the safe and efficient construction of inverted arch, one of the key steps of tunnel construction, this paper, on the basis of Yuxi-Mohan Railway Tunnel Project, proposes a new technology for the construction of inverted arch by using the integrated supporting movable trestle. The results show that: (1) The trestle not only effectively solves the problem of mutual interference between trestle movement and construction process, but also realizes the rapid and safe construction of inverted arch. (2) The structural checking results verify that the connecting bolts of the main beam and cross beam end plate of the trestle meet the strength requirements. (3) When the integrated supporting movable trestle is used to construct the inverted arch, models can be accurately positioned, facilitating the pouring construction. This method is easy to operate, saves manpower and material resources, and is economical and effective. The research results can provide new technical support for the safe construction of tunnel inverted arch.

Key words: tunnel engineering; inverted arch construction; new trestle; structural stability

目前隧道施工制约进度的瓶颈主要是仰拱施工,仰拱施工保证了隧道封闭成环^[1-2]和施工安全。根据以往的施工经验,仰拱施工一般采取简易施工栈桥,只有行车功能,两边无任何防护,仰拱下作业人员有

一定安全风险。同时,仰拱施工现均要求定型钢模板浇筑混凝土,两边的仰拱弧形模板和中心水沟模板常规采取挖机和装载机进行配合吊装定位关模,吊装模板时,其他车辆无法从栈桥通过,且模板定位还需大

收稿日期:2022-04-14

作者简介:陈秦浣(1999-),男,在读硕士研究生。

基金项目:国家自然科学基金(52178378);中国铁路昆明局有限公司科技项目(K17G43)

引文格式:陈秦浣,王庆建,崔光耀.基于地质实体的铁路选线优化与决策模型设计[J].高速铁路技术,2022,13(5):107-110.

CHEN Qinlong, WANG Qingjian, CUI Guangyao. Study on Construction Technology of Inverted Arch of Yuxi-Mohan Railway Tunnel by Using the Integrated Supporting Movable Trestle[J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(5):107-110.

量的人员和定位钢筋,无形中增加投入。此外,人工关模常容易出现定位不精确或跑偏、跑模现象,严重影响混凝土外观质量^[3-8]。隧道仰拱施工质量将严重影响隧道使用^[9],传统的自行式仰拱栈桥设备操作复杂^[10],为有效提高隧道仰拱施工效率和质量,减少工序相互干扰,玉磨铁路隧道采用新型仰拱施工技术进行仰拱施作。

本文通过优化设计,研究了一种整体配套移动栈桥设备,该技术不仅有效解决了栈桥移动和施工工序相互干扰的问题,且实现了仰拱快速施工、中心水沟和填充混凝土浇筑。该栈桥结构安全可靠、移动方便、定位关模快速、节约劳动力、物力和机械使用,效果良好。本文研究可为隧道仰拱施工提供有力技术支持。

1 整体配套移动栈桥结构原理

隧道整体配套移动栈桥是集行车、仰拱弧形边模板、仰拱端头模板、中心水沟模板为一体的自行式的施工仰拱栈桥。该栈桥特点是仰拱填充施作效率高、一次性成型、混凝土外观质量好,止水带安装顺直。

该栈桥主要由单车道栈桥钢结构主体、前后引桥、仰拱弧形模板及支撑、仰拱端头模板、中心水沟模板、履带式行走系统、液压升降系统、混凝土梭槽、止水带定位器等组成,如图 1 所示。栈桥主体采取型钢拼焊,桥面铺焊防滑钢板,仰拱弧形模板通过伸缩液压油缸定位;中心水沟采用伸缩式定型模板,方便脱模;端头采用提升式定型模板;行走为履带式系统,可 360° 旋转。

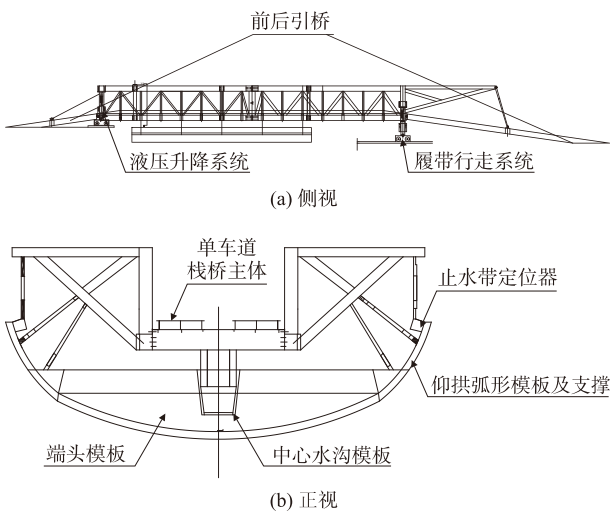


图 1 整体配套移动栈桥结构示意图

2 设计参数

(1) 整体配套移动栈桥由单车道桥身、前后引桥、

仰拱弧形模板及支撑、仰拱端头模板、中心水沟模板、履带式行走系统、混凝土振动梁、液压升降系统、混凝土梭槽、止水带定位器等组成。栈桥总重约 55 t,总长 30 m,主体结构长 20 m,前引桥 6.5 m,后引桥 3.5 m,采取 I 400 拼焊、桥面总宽 3.4 m,单边桥面 1.2 m,中间间隔 1 m,铺焊 6 mm 防滑钢板,桥面纵梁和横穿梁采用 I 400 焊接。前行走为履带式系统,称重能力达 50 t,可 360° 旋转。该移动栈桥技术及结构参数如表 1 所示。

表 1 技术及结构参数表

| 序号 | 名称 | 规格 |
|----|----------------|---------------------------|
| 1 | 有效衬砌长度/m | 12/循环 |
| 2 | 最大高度/mm | 3 492 |
| 3 | 宽度/mm | 4 250 |
| 4 | 长度/mm | 31 800 |
| 5 | 有效行车宽度/mm | 3 400 |
| 6 | 载重/t | 50 |
| 7 | 液压泵型号 | 柱塞泵 22 mm ³ /r |
| 8 | 泵电机功率/kw | 15 |
| 9 | 液压系统额定压力/MPa | 22 |
| 10 | 主桥升降油缸行程/mm | 300 |
| 11 | 坡桥升降油缸行程/mm | 1 000-500 |
| 12 | 驱动方式 | 履带液压马达驱动 |
| 13 | 栈桥行走速度/(m/min) | 3 |

(2) 整体配套移动栈桥能满足工地提供的断面行车要求,其主要组成部分有:

①桥身:直接承载着轮胎踏面,是栈桥的主要受力部件,由优质钢材拼焊而成。

②前引桥后端:通过销子铰接在桥身上,前引桥前端搭接在虚碴路面上,形成坡度过渡虚碴路面和栈桥踏面的高度差,前引桥和桥身支腿间有油缸连接。

③后引桥前端:通过销子铰接在桥身上,后引桥后端搭接在混凝土路面上形成坡度过渡混凝土路面和栈桥踏面的高度差,后引桥和桥身间有油缸连接。

④行走系统:采用的 50 t 履带式液压驱动行走,行走动力为液压顶进。栈桥通车状态下履带式驱动行走不受力。从动行走机构采用注胶钢轮。栈桥移动前,需收起仰拱弧形模板、中心水沟模板、端头模板、引桥。

⑤液压系统:由电机、柱塞油泵、多路阀、前引桥起升油缸、后桥起升油缸移、前坡桥起升油缸、后坡桥起升油缸、管路和辅件组成,主要为栈桥的行走和前后桥升降提供动力,完成栈桥的移动功能。

⑥仰拱弧形模板:通过伸缩液压油缸定位,丝杆辅助固定。

⑦中心水沟:采用有倒角的倒梯形的定型模板,方便脱模。

⑧端头:采用提升式定型模板。

(3) 整体配套移动栈桥通过多组连接组件完成连

接,主要包括:

①支架:包括水平梁、第一斜梁和第二斜梁;水平梁沿横桥向设置,且一端与栈桥主体的护栏相连接,第一斜梁两端分别与主桥和水平梁连接,第二斜梁两端分别与水平梁和第一斜梁连接。

②多根连接杆,设置于支架和仰拱弧形模板之间,连接杆两端分别与支架和仰拱弧形模板铰接。

3 整体配套移动栈桥受力验算

3.1 设计概况

本栈桥为隧道施工而设计,是隧道施工过程中衬砌仰拱施工的同时保证隧道内施工车辆正常通行的专用设备,在隧道快速施工中发挥着举足轻重的作用。

栈桥安装调试完毕后,整个栈桥依靠主梁两端支撑座传力到预先灌注好的仰拱底面和前端开挖面上。设计该仰拱栈桥适用于玉磨铁路仰拱衬砌,栈桥形成道宽3400 mm,仰拱衬砌长12 m,栈桥通过渣土车按照50 t计算。履带自行式移动栈桥前后支点的中心距离为20 m,当车辆通过栈桥时,主梁为主要受力部件,因此只需对主梁进行强度校核。

3.2 主梁强度校核

主梁是栈桥的主要受力部件,在其最大受力状态其需要承受的重量包括:(1)允许通过最大车辆重量 $P = 50 \text{ t}$; (2)主梁本身总重量 $G = 55 \text{ t}$;其中:载荷 P 简化为集中载荷,集中载荷 $F = 50 \text{ t}$;载荷 G 简化为均布载荷,均布载荷集度 $q = b/L = 55/20 = 2.75 \text{ t/m}$, L 为针梁受力模型两支点间距离(m)。

当允许通过的最重车辆(载荷 G)处于栈桥主梁中间时,栈桥为最大受力状态,其受力简图和弯矩图分别如图2和图3所示。

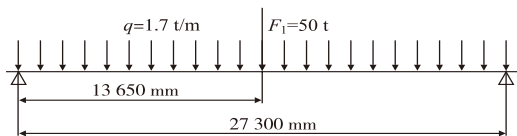


图2 主梁受力简图

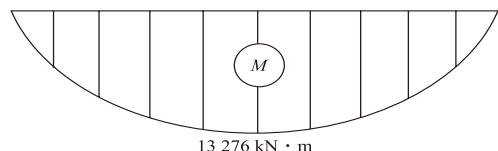


图3 主梁受力弯矩图

从图3可以看出,主梁最大弯矩发生在主梁的中间部位,此截面也就是主梁的危险截面。由主梁弯矩图可知,此位置弯矩为主梁的最大弯矩: $M_{\max} =$

$13\ 276 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 。假设主梁截面为等截面梁,计算得其抗弯系数 $W = 90\ 667 \text{ cm}^3$ 。则此截面的弯曲应力应为:

$$\sigma = M_{\max} / W = 10.5 \times 10^6 / 90\ 667 = 115.81 \text{ MPa}$$

主梁所用材料为Q235,其极限应力 $\sigma_s = 235 \text{ MPa}$,取其安全系数 $n_s = 1.8$,则其许用应力 $[\sigma] = \sigma_s / n_s = 130 \text{ MPa}$ 。所以 $\sigma < [\sigma]$ 。

综上,主梁是满足强度要求的。

4.3 横梁端板连接螺栓强度计算

假设横梁横向设计为四根横梁连接成为一个整体,每个端部共设计有12个M20螺栓,栈桥承受集中载荷为50 t,均分到每个螺栓上承受的剪切力为: $T = 50/12/4 = 1.04 \text{ t}$ 。

假设螺栓残余预紧力系数 $K = 1.6$,螺栓机械性能等级为8.8级,螺栓相对刚度 $\lambda = 0.25$,则螺栓屈服强度 $\sigma_s = 640 \text{ MPa}$,取安全系数 $S_{s1} = 3$,则螺栓许用应力 $[\sigma] = 213 \text{ MPa}$ 。螺栓承受总载荷: $F_0 = 10.4 \times (1.6 + 1) = 27.1 \text{ kN}$,螺栓计算应力: $\sigma_p = 55.00 \text{ MPa}$,校核计算结果: $\sigma \leq [\sigma]$,满足要求。应选用的螺栓:螺栓公称尺寸为M20。经过上述计算,螺栓强度完全能够满足使用要求。

5 施工工艺

5.1 施工操作要点

(1)必须设专人指挥,操作人员必须听从指挥,不得擅自进行升降或行走操作。

(2)主桥顶升前必须先收起前后引桥,引桥离地高度0.1 m左右,不要将油缸全部收回。

(3)主桥顶升时必须缓慢进行,保证水沟模板中心线与行走轮中心线基本重合才能顶升,顶升过程中必须保证桥面基本水平。

(4)主桥顶升高度不要过高,垫梁离地不得超过0.15 m,行走时不要反复点动。

(5)主桥下降时必须缓慢进行,下降过程中必须保证桥面基本水平,顶升油缸不要全部收回,行走轮离钢轨50 cm即可。

(6)行走到工作位置后桥面要保持基本水平,行走轮必须高钢轨顶面5 cm以上。

(7)每次油缸操作完毕后立即停止油泵,以防止误操作和油温过高。

(8)运行中,如果突然发生故障,应采取措施将主桥固定,然后切断电源进行修理。

(9)工作状态时后垫梁与已衬砌边线必须保持0.5 m的安全距离,开挖时必须保证与前垫梁边线保持1 m的安全距离。

5.2 施工工艺要点

栈桥定位要通过中心水沟模板初步确定栈桥定位,然后通过微调,确定中线。两边弧形模板可根据实际情况由油缸进行调整。

混凝土浇筑要做到分层浇筑,仰拱施工时高边墙弧形模板和仰拱腹模进行关模浇筑仰拱混凝土,初凝后,腹模和弧形模板提升,继续浇筑填充混凝土。

整体配套移动栈桥仰拱施工需成立专业仰拱施工班组。班组施工作业人员组成如表 2 所示。

表 2 施工作业组织表

| 序号 | 工作内容 | 人员组成 | 人数/人 | 备注 |
|----|--------|------|------|----|
| 1 | 栈桥移动就位 | 模板工 | 2 | 兼职 |
| 2 | 钢筋绑扎 | 钢筋工 | 8 | |
| 3 | 模板关模 | 模板工 | 2 | 兼职 |
| 4 | 混凝土浇筑 | 混凝土工 | 3 | 兼职 |
| 5 | 合计 | - | 12 | |

6 工艺成本控制

仰拱施工 1 组以 12 m 为例,工序实际施工约 42 h。整体配套移动栈桥施工工序如表 3 所示。

表 3 施工工序对比表

| 序号 | 施工工序 | 人力资源/人 | | 工序时间/h | |
|----|-----------------|---------|----------|--------|----------|
| | | 常规栈桥 | 整体配套移动栈桥 | 常规栈桥 | 整体配套移动栈桥 |
| 1 | 钢筋铺设 | 8 | 8 | 16 | 16 |
| 2 | 模板定位 | 8 | 2 | 8 | 2 |
| 3 | 仰拱混凝土浇筑 | 6 | 3 | 5 | 4 |
| 4 | 仰拱混凝土初凝时间 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| 5 | 仰拱弧形模板脱模 | 4 | 2 | 2 | 0.5 |
| 6 | 填充端头模板、中心水沟模板定位 | 4 | 0 | 6 | 0 |
| 7 | 填充混凝土浇筑 | 4 | 3 | 5 | 4 |
| 8 | 等强 | 0 | 0 | 12 | 12 |
| 9 | 脱模 | 4 | 2 | 3 | 0.5 |
| 10 | 合计 | 综合 22 人 | 综合 12 人 | 60 | 42 |

由表 3 可知,整体配套移动栈桥节约人力 10 人,节约工序时间约 18 h。整体配套移动栈桥通过节约人力,缩短工序时间降低成本,且日常保养材料消耗较少,但存在自动化程度不高,一次性投入过大的问题。

7 结论

本文研发了一种整体配套移动栈桥,该栈桥不仅解决了栈桥移动和施工工序相互干扰的问题,而且满足快速施工仰拱、中心水沟和填充混凝土浇筑的要求。经验算,整体配套移动栈桥结构安全可靠、移动方便、定位关模快速、节约劳动力、物力和机械使用、效果良好。

参考文献:

[1] 田向斌,董世全,邱文韬,等.公路隧道涌水及仰拱裂缝处治研

究[J].公路,2018,63(10):166-169.
TIAN Xiangbin, DONG Shiquan, QIU Wentao, et al. Research on Treatment of Water Gushing and Inverted Arch Cracks for Highway Tunnels [J]. Highway, 2018, 63(10): 166-169.
[2] 王德新.隧道仰拱常见病害原因分析及处治措施探讨[J].四川水泥,2018(11):333.
WANG Dexin. Cause analysis and Treatment Measures of Common Diseases of Tunnel Inverted Arch [J]. Sichuan Cement, 2018(11): 333.
[3] 魏强,汪昆生.高速铁路隧道仰拱拱起病害分析及整治方案[J].铁道建筑,2020,60(2):56-60.
WEI Qiang, WANG Chansheng. Cause Analysis and Treatment Scheme of Inverted Arch Heave for High Speed Railway Tunnel [J]. Railway Engineering, 2020, 60(2): 56-60.
[4] 林毅,王立军,姜军.郑万高铁隧道施工大型机械化配套及信息化应用探索[J].隧道建设(中英文),2018,38(8):1361-1370.
LIN Yi, WANG Lijun, JIANG Jun. Discussion on Large-Scale Mechanized Matching and Its Informatied Application to Zhengzhou-Wanzhou High-Speed Railway Tunnel Construction [J]. Tunnel Construction, 2018, 38(8): 1361-1370.
[5] 薛君,郝纯宗,谭忠盛.特长公路隧道机械化配套快速施工技术研究[J].施工技术,2018,47(S1):605-608.
XUE Jun, HAO Chunzong, TAN Zhongsheng. Research on Rapid Construction Technology with Mechanization Matching for Extra-Long Highway Tunnel [J]. Construction Technology, 2018, 47(S1): 605-608.
[6] 苏辉.长仰拱栈桥在黄土隧道施工中的应用[J].隧道建设(中英文),2017,37(S2):192-197.
SU Hui. Application of Long Trestle for Inverted Arch to Loess Tunnel Construction [J]. Tunnel Construction, 2017, 37(S2): 192-197.
[7] 杨建喜,张进,李世民,等.开敞式TBM隧道仰拱衬砌同步施工关键技术[J].隧道建设,2017,37(5):622-629.
YANG Jianxi, ZHANG Jin, LI Shimin, et al. Key Technologies for Synchronous Construction of Inverted Arch Lining of Tunnel Bored by Open TBM [J]. Tunnel Construction, 2017, 37(5): 622-629.
[8] 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, LV Hu. A Rapid Construction Technology of Tunnel Invert Operation Area [J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2021, 50(7): 179-180.
[9] 王茂靖,吴俊猛.西南地区某隧道底鼓病害原因分析[J].高速铁路技术,2021,12(4):29-33.
WANG Maojing, WU Junmeng. Cause Analysis for Floor Bulg of a Tunnel in Southwest China [J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(4): 29-33.
[10] 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.