

# 全电脑三臂凿岩台车、智能拱锚一体化台车在特长公路隧道中的应用

夏 勇

(四川公路桥梁建设集团有限公司, 四川 成都 610000)

**【摘要】**随着交通行业的高速发展,国家高速公路网不断向西南偏远山区扩展延伸,山岭地区的高速公路工程项目数量也在逐年增加,特长隧道占比越来越大。以某公路隧道机械化施工为例,通过与传统施工技术对比,对全电脑三臂凿岩台车、智能拱锚一体化台车在特长公路隧道中的适用性进行研究,分析设备施工的技术可行性及经济可行性,提出设备优化改进建议,为公路隧道施工设备的推广使用及选型提供借鉴。

**【关键词】**隧道工程;全电脑三臂凿岩台车;智能拱锚一体化台车

**【中图分类号】**U455.3

**【文献标识码】**A

**【文章编号】**2095-2066(2023)06-0160-03

DOI:10.16844/j.cnki.cn10-1007/tk.2023.06.029

## 1 工程概况及设备应用情况

### 1.1 工程概况

白鹤滩隧道为一座上下行分离的四车道高速公路特长隧道,沿江穿越金沙江左岸山体,全长6 714.565 m,净空11.0 m×5.0 m。隧道出口端位于滑坡地段,地表覆盖第四系残坡积碎石,洞身段穿越二叠系中统峨眉山玄武岩。洞口开挖易引发滑坡失稳,采用抗滑桩处置后方可进洞,洞口段开挖采用CD法施工,洞身段采用台阶法施工。

### 1.2 应用背景

(1) 工期原因。白鹤滩隧道受地理位置影响,只能两端掘进,单端施工长度为3 357 m,由于红线土地交付滞后,洞口段施工进度缓慢,无法增加新开挖工作面,进度压力大。

(2) 地质条件原因。洞身段穿越二叠系中统峨眉山玄武岩地层,现场取样进行岩石力学试验结果显示,岩石单轴抗压强度最大达115.4 MPa,人工钻孔困难,钻进速度慢,增加工序时间及人工费。

(3) 安全方面原因。采用全人工开挖需配置11~15名工人打钻,但地勘报告显示洞身段岩体完整性差,开挖后局部围岩无自稳能力,打钻时风险高,安全管理压力大。

(4) 品牌竞争原因。随着隧道建设的智能化、智慧化发展,机械化施工将成为未来隧道施工的主流方向。全电脑三臂凿岩台车是目前国产钻爆法隧道机械化施工的新设备,处于国内领先水平;智能拱锚一体化台车是集拱架台车、锚杆台车于一体的多功能、多用途的新型隧道机械化施工设备。两者的使用将大幅提升隧道施工的机械化水平,促进专业技术队伍的培养,有利于形成机械化施工企业定额,增强企业的发展潜力和核心竞争力。

### 1.3 设备参数及使用情况

通过市场调研及实地考察,该工程决定引进一台全电脑三臂凿岩台车、两台智能拱锚一体化台车用于隧道开挖及支护施工<sup>[1]</sup>。

(1) 全电脑三臂凿岩台车。ZYS113全电脑三臂凿岩台车由中国铁建重工集团股份有限公司生产制造,自动化程度高,功能完备,整机重量为52 t,整机尺寸为17.6 m×2.9 m×3.6 m,电装机总功率为325 kW,凿岩机型号为3×HC110,冲击功率为31.9 kW,最大钻孔深度为5.25 m,钻头直径为45 mm;设备工作范围为11.3 m×16 m。

(2) 智能拱锚一体化台车。GM133智能拱锚一体化台车由中国铁建重工集团股份有限公司生产制造,集立拱、锚杆孔施工功能于一体,整机重量为45.5 t,整机尺寸为16 m×2.7 m×3.5 m,电装机总功率为63 kW,主臂最大举升重量为1.5 t,辅臂最大举升重量为0.7 t,最大安装高度为13 m;配置凿岩机一台,冲击功率为18.5 kW,最大钻孔深度为4 m,钻头直径为45 mm。

LGM312H智能拱锚一体化台车由四川蓝海智能装备制造有限公司生产制造,是集拱架安装、欠挖处理、锚杆安装、横筋网片安装等多功能、多用途的新型隧道机械化施工设备,整机重量为40 t,整机尺寸为10.88 m×3.4 m×3.8 m,电装机总功率为75 kW+75 kW,主臂最大举升重量为3 t,辅臂最大举升重量为1.5 t,最大安装高度为12 m;配置凿岩机两台,冲击功率为18 kW,最大钻孔深度为4.5 m,钻头直径为45 mm。

## 2 配套施工技术及使用分析

### 2.1 开挖施工及功效分析

ZYS113全电脑三臂凿岩台车可实现智能精确

定位,快速钻孔。与人工钻孔开挖相比,机械钻孔开挖有如下两点优势:①凿岩台车自带测量定位系统,定位精准,不需要人工测量放线,节约时间。②凿岩台车自带空压机,不需要接高压风管,减少工序流程。缺点是只有当凿岩台车钻孔完成退出后,装药台车才能就位,增加了工序衔接时间<sup>[2]</sup>。

全电脑三臂凿岩台车需配置3名操作手,负责操作设备日常维修保养。由于掌子面围岩性质不尽相同,凿岩机钻孔所用时间也并不相同。以白鹤滩隧道Z4b衬砌类型为例,设计炮孔深度为4.4 m,钻孔数量150孔,采用统计学对钻爆工序时间进行统计。具体而言,工作前准备时间约20 min,钻孔工作时间约210 min,设备退场时间约10 min,人工装药爆破时间约150 min,共历时390 min,开挖爆破单循环时间相比于人工增加1 h。

## 2.2 立架施工

智能拱锚一体化台车用于预制拱架安装、锚杆施工、超前支护施工。LGM312H智能拱锚一体化台车采用三臂三抓手三吊篮结构,搭载双锚杆系统,其中臂架采用全滑移结构,滑移行程为3.9 m,由三臂遥控控制;GM133智能拱锚一体化台车采用三臂三抓手两吊篮结构,搭载单锚杆系统。智能拱锚一体化台车钢架安装和人工钢架安装的区别如下:设备安装以3榀为一个单位,拱架在钢筋厂提前连接为整体,人工以1榀为一个单位;设备采用挖机配合吊放拱架,人工采用装载机配合端举拱架;单台设备即可完成锁脚、锚杆、超前支护施工,人工安装需要开挖班配合钻孔施工<sup>[3]</sup>。

智能拱锚一体化台车单次拱架安装所需时间与开挖进尺、岩面平整程度、围岩地质条件、拱架加工精度、钢架型号大小有关,采用统计学对设备工作时间进行统计。以白鹤滩隧道Z4b衬砌类型为例,支护参数为I16工字钢钢架,间距为1 m,一个单元(3 m)重500 kg,工作前拱架摆放时间约20 min,设备进场接电接水时间约15 min,立架工作时间约70 min,网片焊接时间约50 min,锚杆施工时间约30 min,设备退场时间约10 min,共历时195 min。整体用时比人工立架节约30 min。

## 3 设备优缺点分析

### 3.1 全电脑三臂凿岩台车

(1) 优点分析。①钻孔速度快,打钻时安全风险低。以全断面为例,相同断面的炮孔数量一致,全电脑三臂凿岩台车单孔钻进最快速度可达3~5 m/min,打钻效率与人工15台凿岩机相当。②自动化测量,炮孔精确定位,节约工序时间。全电脑三臂凿岩台车自带测量系统,无须测量员放出开挖轮廓线,节约时长。③噪声小。属全封闭式驾驶室,施工时室内噪声

低于78 dB,而人工打钻时,工人完全暴露于凿岩机噪声场中,不利于工人身心健康的发展。④扬尘少。设备打钻采用湿式钻孔,采用高压水流清孔,人工打钻采用高压风清孔,粉尘较大。⑤高度信息化。设备自动记录、存储钻孔日志,为后期进行隧道超欠挖分析提供理论依据。

(2) 缺点分析。①对水电要求高。全电脑三臂凿岩台车总装机功率为325 kW,洞内敷设了3×400+2×185国标铝芯线专用电缆,确保末端电压不低于420 V,设备启动后3台钻机能同时正常高速钻孔;打钻时需水量不低于20 m³/h。同时对水质要求较高,滤网堵住后将造成钻渣无法排出而卡钻。②设备售价高、租金高。设备售价接近1 000万元,租金高,相比于人工性价比太低。③没有完全实现减人目标。设备打钻时人员大幅减少,但打钻后仍需至少8人进行装药。④工序时间加长。凿岩台车打钻完成退出后,人工装药仍需2.5 h,开挖爆破共需6.5 h,比人工增加1 h,且工序无法搭接。⑤洞内文明施工差。打钻时将产生大量泥浆,收集困难,清洗不便,白鹤滩隧道出口逆坡施工,单次打钻产生约60 m³废水,外排至洞外会增加排水费用以及污水处置费用。⑥炸材消耗量大。全电脑三臂凿岩台车打钻成孔数量增多,孔径增大,装药不耦合系数大,用药量增大。炸药用量每延米增加21.4 kg,雷管每延米增加11.4发。⑦设备耗材用量大。钻杆钻头属于易耗品,费用高,围岩破碎时卡钻导致用量更大,目前新设备耗材及维保费用约为7万元/月。⑧逆坡施工困难。逆坡施工,掌子面处于最低点,泥浆及钻渣、涌水汇集于底板孔,打底板孔时需要两人专门负责创渣堵孔;掉落的钻渣约50 cm厚,装药前创渣找孔困难,导致漏装或装药不彻底,爆破后底板隆起、突出。⑨超挖较大。周边眼设计炮孔深度4.4 m,外插距离10 cm,由于机械臂粗大且长、岩面变化多端,实际外插角均大于设计值,以Ⅳ级围岩为例,成孔后终孔端外插距离平均约30 cm,平均超挖15 cm。⑩自动钻孔功能实用性差。全电脑三臂凿岩台车具备全自动找孔、打孔功能,但由于掌子面地质情况每班变化很大且不平整,设备按设计位置及角度找孔困难,摆臂定位时间长,钻孔时间增加1~1.5 h,经济性不高<sup>[4]</sup>。

### 3.2 智能拱锚一体化台车

(1) 优点分析。①功能丰富。适用于钢拱架安装、锚杆安装、锚网安装、超前支护安装等施工作业。②抓手灵活,节约立架时间。该台车抓手自由度多,中臂抓举重量最大,在无欠挖状态下,与人工相比每班节约1 h。③安全风险低。钢架在钢筋厂已提前连接为整体,网片焊接完成,且操作人员位于钢架及网片形成的保护屏障下方,安全系数高。④欠挖处理。左右

臂架欠挖处理锤,可以处理小批量的欠挖。

(2) 缺点分析。①增加工字钢加工及运输成本。钢架需提前在钢筋厂加工连接为整体,相应地增加了钢材加工费用;单榀钢架采用装载机运输,整体钢架采用平板车运输,增加了钢架运输费用。②设备成本高,性价比较低。人工立架最多只需 8 人,立架成本约为 8.5 万元/月,设备立架仅设备租金就需花费 15 万元/月。③对开挖断面要求较高。由于钢架 3 榀连接为一个整体,断面欠挖会导致钢架定位调整变得极为困难,耗时耗力,因此设备立架要求开挖断面不得有任何欠挖。④增加锚固剂用量。人工施工锚杆时,通常使用 40 mm 钻头;设备施工锚杆则采用 45 mm 钻头,成孔直径变大,成孔体积增加 60%,系统锚杆及锁脚锚杆的锚固剂用量相应增多。⑤每班节约的时间不明显。对于三榀 I 12 工字钢钢架,智能拱锚一体化台车立架和人工立架均需要花费 1.5 h;对于三榀 I 14—I 18 工字钢钢架,智能拱锚一体化台车立架相比于人工立架节约了 1 h,但每月只能增加一个班的进尺,经济价值不大。⑥机械化没有实现减人目标。IV 级围岩条件下,人工立架需 6 人;智能拱锚一体化台车立架需 2 人操作设备,4 名工人配合。⑦网片焊接和锁脚不能同时施工。钢架完成螺栓对接形成整体并完成定位后,智能拱锚一体化台车需完成网片焊接,才能进行锁脚施工,导致工序时间增加约 40 min。

## 4 设备使用成本分析

### 4.1 全电脑三臂凿岩台车的使用成本

白鹤滩隧道以 IV 级围岩为主,费用以 Z4b 衬砌类型计算,机械每班循环时间按理想状态 22 h 计,每月 33 个班,每班进尺 4.2 m,月进尺 138.6 m;人工每班循环时间按理想状态 22 h 计,每月 33 个班,每班理想进尺 3.7 m,月进尺 122.1 m。雷管及炸药使用数量根据现场每班实际炸药及雷管使用数量确定,单价根据采购价确定,电费根据现场安装的专用电表确定,电缆费用根据摊销费用确定。相比于人工钻爆开挖,使用台车钻爆开挖可增加约为 31.76 元/m<sup>3</sup> 的成本。

### 4.2 智能拱锚一体化台车的使用成本

以白鹤滩隧道 IV 级围岩 Z4b 衬砌类型计算,智能拱锚一体化台车和人工立架均按月、按米核算,立架进尺按开挖进尺核算,电费根据现场安装的专用电表核算每班用电量。相比于人工立架,使用设备立架后每延米增加成本约 761.57 元。

## 5 设备改进建议

(1) 智能拱锚一体化台车属于高新设备,需要两名综合性较强的技能人才担任设备操作手,同时配

置 3~5 名技术工人组成立架小班组,用以完成钢架支护、锚杆支护、超前支护的全部工作。此外,为了提高设备钻机功率,增大可钻孔深度,现有 LGM312H 智能拱锚一体化台车可采用三臂两凿岩设计,并对拱锚设备进行改造优化,例如,设计臂架体型更小,利于完成车通等空间受限部位的钻爆施工,扩大其适用范围;充分利用并优化升级拱锚设备的锚杆系统钻孔功能,同步完成开挖钻孔和钢架安装,做到“拱、锚、钻”一体化,达到设备利用率最大化、投资最小化、效益最大化的目的,进而满足钻爆需求。

(2) 全电脑三臂凿岩台车需要清洁水源才能保证钻孔作业的高效开展。不同施工地点的施工用水水源不尽相同,难以保障用水的绝对清洁。对此,设备可增加自动清洗滤芯功能,在滤芯内加装高压喷头或清洁刷,清除滤芯内部附着物,确保设备打钻时能正常供水<sup>[9]</sup>。

## 6 结语

目前全电脑三臂凿岩台车、智能拱锚一体化台车已趋于成熟,技术可行性较高,但存在购置价格高、维修费用昂贵、售后服务体系不健全和高水平操作人员少等问题,大范围推行会存在诸多困难。因此,为了更好地应对人口老龄化及钻孔人工成本增长问题,提升企业的核心竞争力和发展潜力,可通过建立试点项目,适量引入全电脑三臂凿岩台车、智能拱锚一体化台车进行施工,逐步培养为企业所用的青年一代设备操作手、维修工,建立相对稳定的隧道设备智能化、机械化核心技术工人队伍,为企业隧道机械化设备大规模使用积累人才和经验,做到有备而无患。

## 参考文献

- [1] 王玮.全电脑三臂凿岩台车在长大隧道施工中的应用[J].建筑机械,2019(3):24-27.
- [2] 要建国.电脑凿岩台车在隧道施工中的超欠挖控制[J].工程机械,2020,51(8):111-116,10.
- [3] 于金伟,高子良,王昊森.全电脑三臂凿岩台车在伏牛山隧道全断面开挖中的应用分析[J].公路交通科技(应用技术版),2020(9):37-30.
- [4] 张兵.桥梁工程机械施工设备的管理与维护分析[J].建筑技术开发,2020,47(18):52-53.
- [5] 杨海航,房玉中,邵鹤.全电脑三臂凿岩台车在长大隧道中快速掘进的应用研究[J].公路交通技术,2021,37(3):120-124,131.

作者简介:夏勇(1975—),男,汉族,四川成都人,本科,高级工程师,主要从事设备管理工作。