

# 山岭隧道施工多功能凿岩台车在施工中的应用

范祥<sup>1</sup> 张涛<sup>2</sup> 孙刚<sup>2</sup> 李勇<sup>2</sup> 赵远杰<sup>2</sup> 杨翼隆<sup>3</sup>

1. 绍兴市柯诸高速公路有限公司 浙江绍兴 312000

2. 中交二公局东萌工程有限公司 陕西西安 710100

3. 长安大学公路学院 陕西西安 710064

**摘要:** 由于目前隧道施工台车功能繁琐, 结构单一, 在断面大、洞内环境复杂的山岭隧道中施工需多台施工机械辅助开展, 工序繁琐, 人力物力浪费多有发生, 故设计了一种多功能开挖台车, 将传统多臂凿岩台车和拱架支护台车的功能结合, 克服了传统设备的局限性, 为隧道施工工程带来了诸多便利。该台车综合了初期支护、全断面开挖、三台阶开挖、除尘、二衬质量监测等功能, 并且可以实现自助移动、升降功能, 能够满足多场景、实现多功能的使用需求。

**关键词:** 隧道多功能台车; 移动; 扩展; 支护; 降尘; 喷混; 智能养护

## 1 引言

目前隧道施工常见的施工台车多见开挖台车、支护台车、挂布台车、除尘台车、二衬支护台车等, 功能繁琐, 结构单一, 无法满足多功能施工要求, 造成隧道开挖和支护、除尘功能脱节、整体施工效率低下等问题。此外, 山岭隧道由于断面大、洞内环境复杂, 台车移动受阻, 现场施工需多台施工机械辅助开展, 工序繁琐, 人力物力浪费现场多有发生。上述缺陷限制了单一台车的应用范围。

基于上述工程背景, 特设计了一种多功能开挖台车。该台车将传统多臂凿岩台车和拱架支护台车的功能结合, 克服了传统设备的局限性, 为隧道施工工程带来了诸多便利。该台车综合了初期支护、全断面开挖、三台阶开挖、除尘、二衬质量监测等功能, 并且可以实现自助移动、升降功能, 能够满足多场景、实现多功能的使用需求。通过融合多种功能, 该台车的应用为隧道工程提供了更多的选择, 且此台车可以适应不同类型的施工环境和需求, 从而提高了工程的质量和可持续性。

## 2 产品概述

以下是该设备的简要功能和使用情景说明:

(1) 拱架台车。拱架台车用于实现初期支护拱架预拼装和吊运安装, 减少人力, 提高施工质量和效率, 保护施工人员安全。

(2) 湿喷机械手。湿喷机械手用于喷涂混凝土支护材料, 以加强隧道壁面和拱顶的支护结构。

(3) 自行式移动栈桥。自行式移动栈桥用于运输和布置各种施工材料和设备, 以支持施工进度。

(4) 二衬厚度预检。二衬厚度预检台车用于检查二衬的厚度和质量, 确保支护结构的符合规范。

(5) 防水卷材作业。防水卷材作业台车用于安装防水卷材, 以防止水渗透到隧道内部。

(6) 二衬台车。二衬台车用于支撑和定位二衬支护结构, 确保其准确安装。

(7) 二衬养护台车。二衬养护台车用于对二衬结构进行养护和维护, 以确保其长期稳定性。

(8) 电缆沟槽台车。电缆沟槽台车用于安装和保护电缆, 以提供隧道内部的电力和通信设施。

上述功能协同工作, 使大断面高速公路山岭隧道的施工更加高效、安全和便捷。它们降低了人工投入, 减少了施工机械伤害的可能性, 同时提高了施工质量和速度, 确保了隧道的稳定性和安全性。



图 1 多功能台车模型图

### 3 基本特点与功能

#### 3.1 移动功能

##### 3.1.1 出色的灵活性

图 2 所示为该设备的电动驱动系统。该设备具有出色的灵活性，部分得益于它们装备的电动驱动系统。这使得该设备能够在隧道内部轻松移动，适应不同的工作区域和任务需求。车轮使得设备可以快速转移，减少在施工现场的移动和重新定位时间，提高了施工效率，同时降低了人工劳动力成本。



图 2 电动驱动系统

##### 3.1.2 可靠性和稳定性

该设备在施工中表现出卓越的可靠性和稳定性。其中一个关键要素是它们的液压支撑杆（或其他支撑结构），这些支撑杆可以确保设备在操作时不会倾斜或移动。此设计使设备能够牢固地固定在地面上，确保了操作时的准确性和安全性，降低了施工风险。此外，它还有助于维持设备的操作精度，确保所完成的工作符合规格和质量标准。

##### 3.1.3 左右可移动性

该设备具有出色的操作灵活性。其通常配备千斤顶等辅助设备，以便在需要时能够在狭窄或曲线的隧道中实现精确的转弯动作。操作人员使用千斤顶可在设备下方升起或降低特定部分，从而调整设备的方向。这种功能对于在隧道等有限空间内工作的施工人员来说尤为重要，可以确保设备能够顺畅地通过弯曲区域，从而提高施工的效率 and 安全性。



图 3 左右移动功能

#### 3.2 平台扩展功能：上下升降+前后左右伸缩

##### 3.2.1 前后左右可伸缩

该设备具有杰出的侧边可外展性，通过伸出台车两侧平台，可为施工提供额外的工作空间和便利的施工平台。这些可调节平台允许施工人员根据具体需求进行调整，而且施工人员在这些平台上安全工作，以完成各种任务，包括安装、维护和检查。这不仅提高了施工效率，还降低了操作的复杂性。



图 4 左右伸缩平台

##### 3.2.2 整体上下可升降

该设备具有卓越的总体可升降性，该功能包括两个关键方面：

(1) 设备底板升降。设备的底板可升降，这项特性允许设备在需要时升起，从而为其他设备提供足够的空间，使其可以从设备的下方通过，而不影响施工区域的交通。这种升降功能确保了施工现场的流畅运作，允许不同设备在隧道内自由运动。

(2) 多层升降系统。设备的底板升降不仅仅是为了提供通行空间，还可在需要时升高设备的上部结构。这使得此设备可适用于不同高度和多种情况的隧道。

多层升降系统提供了额外的灵活性，可以根据隧道的具体要求进行调整，确保施工过程更加方便快捷。总体可升降性使这些设备在应对各种隧道高度和施工情况时表现出色。它们不仅确保设备之间的通行，还可以根据需要升高设备，提高了施工的适用性和效率。

这一特性在处理不同高度变化的隧道布局时尤为重要。



图 5 上下整体可升降功能

### 3.3 支护功能

#### 3.3.1 全能吊机

台车立架吊机的主要作用是提升和吊装重物，包括大型零部件、机械设备、建筑材料、工业设备等。它能够轻松地提升和移动重物，使其能够准确放置在所需位置。此外，使用台车立架吊机可以减少人工搬运重物的风险，降低工作场所事故的可能性。在提高工作效率的同时，提高工作的安全性。



图6 全能吊机

#### 3.3.2 拱架定位

如下图所示，钢拱架可以在立架上沿水平方向自由移动，这种灵活性使得工人能够迅速调整工作位置，极大地方便了施工，且有助于优化施工布局；通过提前设立好固定的间距，拱架可以直接垂直抬升到所需高度，而不需要进行复杂的调整，从而节省了宝贵的时间。其中，立架水平方向有卡槽，便于施工人员确定相同的水平间距，使支护更均衡，施工更安全。

总之，台车立架系统的作用包括提供固定支撑结构以确保台车的稳定性和提供垂直运动的间隔作用，以满足不同高度和工作需求。这使得台车立架在各种应用中都非常有用，特别是在需要提升和支持重物的情况下。



图7 拱架定位

#### 3.4 喷雾降尘功能

台车前端安装的雾炮等喷雾降尘设施可以快速清除由开挖过程中产生的烟雾，净化室内空气，从而提供良好的作业环境。这不仅改善了工人的工作条件，还可减少 20-30 分钟的通风排烟时间。这不仅提高了施工效率，还减少了工程周期，减轻了环境压力，有助于确保施工现场的空气质量达到规定标准。

#### 3.5 初期支护喷混功能

隧道湿喷机械手是一种大型智能化湿喷混凝土设备，具有多重优点。首先，它提供高效率的混凝土喷射施工，从而节约时间和人力资源。其次，减少了混凝土的回弹量，从而减少了材料浪费和环境污染。此外，它在作业过程中提供了安全性，减少了潜在风险。



图8 喷混功能

### 4 开挖施工(台阶法)

#### 4.1 前后伸缩

台车多结构能实现前后移动，增加了作业范围和灵活性，其中自行式移动栈桥在隧道施工中的具有重要作用。其主要功能是向前延伸，最大延伸范围 7.5m。使施工团队可将设备推进到掌子面，能够提供钻爆法钻孔的施工平台。这可减少工序之间的干扰，确保施工连续进行，实现上下台阶同步开挖与快速支护成环，从而加快了施工进度。这种方式不仅降低了成本且增加了安全性。自行式移动栈桥的应用可降低施工现场的混乱，同时可以更好地控制和监督施工过程。

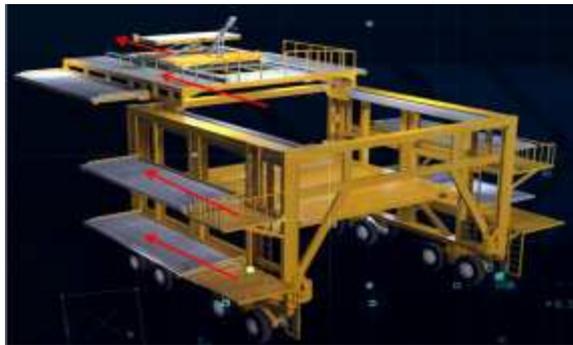


图9 前后伸缩平台

#### 4.2 上下升降

该台车支架具有向上抬升的能力，使其能够完成钢拱架的立设。施工人员通过台车的抬升功能将操作支架调整到所需的高度，以确保精确的钢筋架安装。



图10 上下可升降

上图所示结构可以让承台上下移动，这为施工提供了额外的便捷性。施工团队可以根据需要选择合适的高度，以适应不同的施工阶段和需求，有助于施工机械通行。

### 5 智能养护功能

根据以往隧道二衬施工经验，二衬混凝土施工后水化热产生的温度较高，拆模需要选择一个恰当的时间，否则拆模时间过早易造成混凝土因强度不足形成应力变形，形成裂缝；拆模过晚易造成混凝土早期失水，引起二衬混凝土出现裂缝。本台车采用智能养护系统，通过实时监测、智能控制和高效的养护方式，以确保隧道二衬混凝土的施工质量和施工效率。

#### 5.1 混凝土温度采集系统

安装在隧道二衬台车上的混凝土温度采集系统具有重要作用。它能够实时监测混凝土的内外部温度，从而帮助确定合理的拆模时间，避免引起裂缝，提高了二衬混凝土的质量和稳定性。液晶仪表显示，屏幕中红点为检测点，可实时

检测温度湿度。当检测到湿度达到 90% 以下时系统会自动报警，加湿功能自动开启。系统将自动记录各时段所检测数据，并长期保存检测记录，实现养护质量溯源。



图11 智能养护界面

#### 5.2 智能数字化养护

该台车可以根据实际测得的衬砌混凝土温升曲线进行保温和保湿养护。这一智能养护方式的优势在于根据实际情况调整养护条件，自动检测和调节温度与湿度，提高了混凝土的质量和稳定性。同时，减少了混凝土内外温差以及环境因素的干扰，有助于降低内部应力和裂缝的风险。智能化养护方式还能够提高质量可追溯性，通过数据记录和处理，确保施工质量的可控制和可追溯，从而提高了整个隧道工程的可持续性和经济性。

#### 5.3 高分子耐磨材料和气膜

采用高分子耐磨材料充当气膜的台车设计在养护过程中扮演着至关重要的角色。这一创新设计为隧道二衬混凝土的养护提供了重要的优势。首先，它创造了更好的密封效果，有效地阻止了水分和热量的散失。这意味着养护台车可以维持稳定的湿度和温度条件，有助于混凝土的均匀硬化和强度发展。同时，通过保湿保温亦加强了混凝土的强度和品质。

#### 5.4 大净空轻型骨架支撑体系

采用大净空轻型骨架支撑体系的设计为施工提供了多重好处。首先，它创造了宽敞明亮的施工作业环境，使施工人员能够更加舒适和高效地工作。这不仅提高了作业现场的管理品质和形象，还有助于提高工作环境的舒适度。

这种大净空设计还为施工提供了更多的灵活性和可操作性，因为它提供了更多的工作空间和通风，从而有助于改善工作条件。施工现场的宽敞明亮还可以提高工作效率，减少了错误和事故的发生的可能性。

### 5.5 超细气雾分子加湿

使用超细气雾分子加湿技术有多重好处。首先，它确保了养护过程中的湿度均匀分布，防止了湿度不均匀带来的混凝土质量问题。其次，这一技术可以显著节省用水量，有助于资源和环境保护。同时，它还降低了能源消耗，因为混凝土不需要消耗大量能量来蒸发多余的水分。最重要的是，这种技术提高了养护的经济性，降低了施工成本。

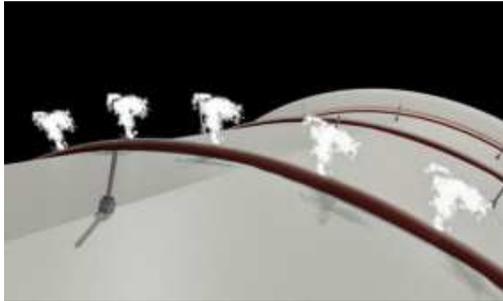


图 12 超细气雾分子加湿

### 5.6 二衬厚度预检

该台车能够进行初支断面的全覆盖检测。以前的激光断面仪可能无法实现全覆盖检测，从而可能导致未被检测到的区域，进一步可能导致初支侵入二衬的情况。这种台车解决了这一问题，确保了初支断面的全面检测。

### 5.7 防水卷材作业

该台车将二衬厚度预检台车与防水板台车进行功能结合，将三维激光扫描仪安装到多功能防水板台车上，台车行走过程中便可以完成断面扫描；防水板台车采用数控的方式对钢筋、防水板进行铺设，施工效率高且安全。通过固定主副门架上的液压油缸，将牵引好的土工布、防水板、钢筋顶伸至指定位置，再进行土工布、防水板、钢筋的焊接与捆扎，解决了以往土工布、防水板铺设易初出现大面积褶皱的问题等。



图 13 二衬监测 + 挂布功能

## 6 信息化智能操作系统

智能信息化浇筑衬砌台车实现隧道衬砌施工可视化、

数据化、智能化、信息化，使施工更轻松、监管更简单、质量更可靠。通过信息化监视系统实现数据采集、记录、存储和传输等功能与隧道成套智能装备信息化管理系统，可实时监测台车浇筑入仓顺序及位置、浇筑方量、对应浇筑口流量、混凝土入模温度、衬砌施工位置的环境温度和湿度。浇筑过程中拱顶饱满度、拱顶压力等数据，达到过程可控制、可追溯。

### 6.1 传力原理优化

智能信息化浇筑衬砌台车的设计改进了传统台车的受力原理。该台车通过优化结构，减少了传力路线的长度和节点数量。这项改进的主要目标是降低台车在施工过程中发生变形和跑模的风险。传统台车的受力路线较长且节点众多，易受外部因素干扰，导致台车不稳甚至跑模。而智能信息化浇筑衬砌台车的设计更为稳定，能够在施工过程中更可靠地运行，确保施工的质量和安

### 6.2 标准化和模块化设计

台车的采用标准化和模块化设计是为了实现多重好处。首先，标准化的设计有助于降低制造成本，因为它简化了生产过程，减少了定制零部件的需要。这使得制造过程更简单，从而提高了效率，节省了成本。

其次，模块化的结构使得台车的部件更易更换和升级。这意味着如果某个部件需要维修或升级，可以轻松地更换它，而不必改变整个台车的结构。这不仅延长了台车的使用寿命，还降低了维护和维修的成本。



图 14 标准模块化设计

### 6.3 简化的支撑结构

台车支撑杆件较传统台车少，这使得操作更加简单且高效。由于支撑杆件较少，立模和脱模的过程更迅速，有效减少了施工中的收立模时间，提高了效率。简化的操作流程还降低了施工人员的技能要求，使更多的人能够轻松地掌握操作技巧。这有助于减少操作人员的培训时间和成本，提高了操作的可行性。

#### 6.4 PLC 程序控制

施工人员能够通过 PLC 程序(可编程逻辑控制器)来控制台车的振捣操作。PLC 程序提供了精确的控制和监控功能,可以根据具体的混凝土类型和施工要求进行调整,以确保混凝土的质量和性能。PLC 程序提供了自动化和精确控制的优势,有助于提高振捣的效率和一致性,确保混凝土达到预期的强度和均匀性。允许施工人员进行以下方面的设置和调整:

(1) 持续振捣时间。施工人员可以设定振捣的持续时间,确保混凝土得到适当的振实。

(2) 间隔时间。可以设置振捣周期之间的间隔时间,以允许混凝土在振捣周期之间适当地定型和排气。

(3) 振动次数。施工人员可以设定振捣的次数,确保混凝土得到足够的振实。

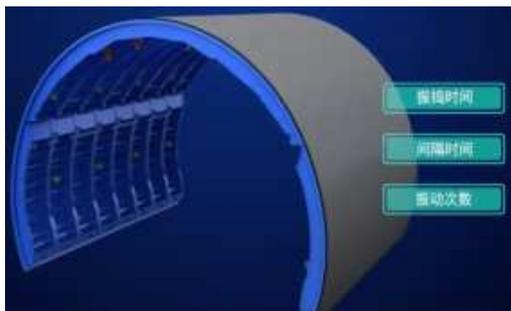


图 15 智能振捣

自辅轨系统的应用在隧道工程中带来多方面好处。首先,它显著降低了工人的劳动强度,因为不再需要大量的枕木布设和维护;其次,这一系统可减少作业人员,提高了经济性和效率。最重要的是,它提高了工作效率,加快了工程进度,有助于工程的及时完成。



图 16 自辅轨道系统

#### 7 结语

基于目前现有山岭隧道台车的缺陷与不足,设计出这样一种适应广泛的多功能新型开挖台车,以达到提高施工

效率,提升施工质量,保障人员安全,降低维修成本,增强施工智能化的目的。而随着时代的不断发展和隧道施工具体工况的不断改变,隧道内施工要求也会不断发生变化,对于机械的各项要求也会发生变化,这就要求我们紧跟时代的发展步伐,不断进行技术创新以应对新的隧道施工环境。

#### 参考文献:

- [1] 郑朝保,张龙,冯中兴,赖和全.我国隧道凿岩设备的应用与发展[J].现代隧道技术,2018,55(04):9-13+24.
- [2] 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.
- [3] 李校珂.新型智能化隧道衬砌台车施工技术研究[J].施工技术,2020,49(01):100-104.
- [4] 纪博林.隧道衬砌养护台车智能养护系统研究[J].国防交通工程与技术,2020,18(04):71-73.
- [5] 肖广智.加强铁路隧道机械化施工,保证隧道施工质量和安全[J].现代隧道技术,2008,45(S1):15-19.
- [6] 李朋伟.基于多臂凿岩台车和湿喷机组的公路隧道施工机械化作业模式研究[D].重庆交通大学,2014.
- [7] 李恒鸿.面向全电脑多臂凿岩台车和湿喷机组的公路隧道施工工艺[J].黑龙江交通科技,2022,45(05):144-146.
- [8] 周斌.基于全电脑凿岩台车及湿喷机组的公路隧道施工关键技术研究[D].重庆交通大学,2015.
- [9] 杨健民.基于全电脑多臂凿岩台车和湿喷机组的公路隧道施工工艺研究[D].重庆交通大学,2014.
- [10] 韩文珍,张子昂.全液压电脑导向三臂凿岩台车在东山隧道的应用[J].交通科技与管理,2023,4(01):117-119.
- [11] 谢习华.隧道凿岩机器人控制系统及定位误差分析与补偿研究[D].中南大学,2009.
- [12] 郭国钢.全电脑三臂凿岩台车在高铁软弱围岩隧道的开挖技术及主要技术经济指标分析[J].中国设备工程,2020,(05):171-173.
- [13] 郭继怀.全电脑三臂凿岩台车在高速公路隧道施工中的应用[J].四川水力发电,2022,41(03):111-114.
- [14] 李蔓琴,沈林丽等.全电脑三臂凿岩台车在公路隧道施工中应用探索[A]2021年全国土木工程施工技术交流会论文集(下册)[C].《施工技术》杂志社、亚太建设科技信息研究院有限公司,施工技术编辑部,2021:3.

作者简介:范祥(1988—),男,汉族,本科,工程管理。