

铁路隧道二衬台车自动打磨喷涂设备研究与应用

杨绪才

中铁上海工程局集团第一工程有限公司设备研发中心 安徽 芜湖 241000

摘要:我国目前正在施工和规划要施工的隧道众多,隧道二次衬砌施工的外观质量重要因素取决于衬砌台车表面的光滑程度,隧道衬砌模板必须每次拆模后浇筑下一板二衬前打磨光滑,否则拆模时将会出现蜂窝麻面,粘连掉块等问题。目前隧道衬砌模板大多采用人工使用角磨机的方式进行打磨,存在打磨操作危险,打磨时间长,劳动强度高,打磨不均匀的弊端,针对以上不足设计研发了隧道二衬台车自动打磨喷涂设备。

关键词:铁路隧道(railway tunnel);打磨喷涂设备;现场试验(field test/site test);二衬台车;自动

1 前言

1.1 研究背景

目前,中国已经是世界上隧道工程规模最为庞大的国家。展望未来,以高速铁路区域连接线衔接,以部分兼顾干线功能的城际铁路为补充,主要采用250km及以上时速标准的高速铁路网对50万人口以上城市覆盖率达到95%以上,综合交通枢纽换乘换装效率进一步提高。重点城市群一体化交通网络、都市圈1小时通勤网加快形成,铁路营业里程达到165000km,其中高铁营业里程到达50000km。截至2021年底,我国运营铁路隧道总数17532座,总长21055km。2021年新增运营铁路隧道734座,新增里程1425km。通过上述数据分析,中国仍将是世界上隧道修建里程最多和修建技术发展最快的国家。

1.2 研究现状

截止到目前为止,在隧道工程建设领域,衬砌台车打磨清理和脱模剂涂刷都是通过人工操作,自动打磨及喷涂设备在隧道衬砌台车上并未普及使用。目前在隧道衬砌台车打磨及喷涂施工技术上的研究主要有如下几种方式:

1.2.1 “弧形门架”式打磨及喷涂技术。由自动清灰装置、自动涂刷脱模剂装置构成,呈门形架体结构,自动涂刷脱模剂装置放置于自动清灰装置后方位置,并由固定及调节装置固定于隧道内墙壁上,预先装置好隧道钢模台车用自动清灰和脱模装置,在台车移动就位过程中启动泵机或者喷雾器和所有以钢丝刷为角磨片的角磨机,使钢模台车在移动过程中先通过自动清灰装置,在通过过程中角磨机的角磨片对钢模台车模板进行打磨清灰,再通过自动涂刷脱模剂装置,自动涂刷脱模剂装置中的泵机或者喷雾器将脱模剂通过钢管不间断压入滚动棉刷上,滚动棉刷受台车的摩擦力滚动完成钢模台车模板涂刷脱模剂施工。

1.2.2 “轨道小车”式打磨及喷涂技术。在二衬台车前端,借助工作台车将轨道架拼装完成,检查是否需要

更换打磨钢刷和涂油毛刷,给涂油毛刷供油的小油桶加油,安装打磨涂油车、卷扬机,然后前移二衬台车至轨道架下方,开始第一循环打磨涂油作业,第一循环完成后,继续前移二衬台车,开始第二循环的打磨涂油作业,直至完成整个台车的打磨涂油作业。

1.3 研究的目的是和意义。因现场大多采用的都是人工打磨和涂刷脱模剂的方法,将衬砌台车前移至二衬钢筋未绑扎区域,在初支表面与台车面板之间稍大的空间搭建临时支架,人工手持打磨机对台车面板进行清理和涂刷脱模剂,工效慢,同时人工作业时坠落安全风险高。

为切实改善混凝土外观质量和作业人员安全风险,实现降本增效。开展了科技创新,对现有衬砌台车进行升级改造。在不影响施工工序的前提下,满足狭小空间条件,设计出一款实用、高效的自动打磨喷涂设备。

2 研究内容与方法

2.1 主要研究内容

2.1.1 隧道衬砌台车整体打磨设备技术研究。针对隧道衬砌台车模板人工打磨困难和工效不理想的现状,研究隧道衬砌台车整体打磨设备。研究打磨方式、驱动装置、关键零部件、打磨材料等,实现应对不同打磨条件、多断面自动调节适应。

2.1.2 隧道衬砌台车整体喷涂装备技术研究。衬砌台车脱模剂喷涂效果直接影响混凝土质量,研究隧道衬砌台车整体喷涂设备、喷涂脱模剂数量自动控制、工艺参数等,实现智能控制自动喷涂脱模剂,根据台车表面尺寸,可自动往返进行喷涂,提高自动喷涂效果和效率。

2.2 研究方法

本项目采用科学研究与施工实践相结合、理论分析与工程类比并重的研究方法,确保研究成果可真正服务于在建隧道项目。

2.2.1 科学研究与施工实践相结合。搜集衬砌台车自动打磨及喷涂技术相关期刊专著以及网络文献,对资料

进行归纳、整理、分类、分析，得出相关的研究成果。同时，积极开展项目调研，并对不同设计方案进行全方位可行性分析，提出详细的改进方案，保证项目实施的科学性，符合工程实际应用。

2.2.2 理论分析与工程类比并重。在整个项目研究过程中，始终贯彻以理论知识为基础，通过理论分析和三维动画模拟，分析衬砌台车自动打磨及喷涂施工技术在隧道内运用的可行性，并与现有技术进行比较，分析优缺点，以更好的服务于项目施工。

3 方案设计

3.1 方案选型

为更好的完成铁路隧道二衬台车自动打磨及喷涂装备研制与应用，先后拟定了2种方案，通过会议研讨进行方案比选。

3.1.1 “小车式”自动打磨喷涂设备。工作原理：本方案通过在台车模板外侧设计两根纵向自行式轨道小车，在轨道小车上安装有可沿轨道移动的打磨喷涂小车。打磨喷涂小车的打磨辊组可相对其行走轮组沿台车的法向移动，打磨辊组上安装有电磁铁，增加打磨辊的打磨效果。在台车后端的加长节上，模面分为三节，轨道小车的对应位置也断开，销接。

优点：可实现自动化行走式打磨和喷涂功能。

缺点：厚度大，效率慢，存在脱落风险。

3.1.2 “固定式”打磨及喷涂设备。工作原理：在打磨时，将该装置固定于衬砌内表面，通过顶紧螺栓与混凝土表面接触，起到防止变形的支撑作用。固定后，将衬砌台车运行至该装置端头，进行对位，对准后，开启角向磨光机，移动衬砌台车，通过衬砌台车在该装置下来回穿梭，实现对整个衬砌台车模板面打磨；在一遍打磨后，衬砌台车尾部刚好停留在该装置装有脱模剂喷管的一侧，此时关闭角向磨光机，开启脱模剂喷管，实现在衬砌台车退回去的同时进行整个台车模板喷涂脱模剂。

优点：高效。

缺点：精度要求高，总功率大。

3.2 衬砌台车整体打磨技术方案设计

3.2.1 自动打磨方案设计

衬砌台车面板整体打磨的技术研究主要集中在以下四个方面：

1) 关键部件设计研究。衬砌台车打磨设备由驱动装置、配重装置、打磨带和纵向走行机构组成。驱动装置包括驱动电机、减速机和曲柄摇杆机构。驱动装置和配重装置对称布置在衬砌台车的底部，通过电机和减速机提供动力，牵引曲柄摇杆机构向下运动时，打磨带向一

侧滑动，同时配重装置向上提升，曲柄摇杆机构向上运动时，打磨带在配重装置自身重力的作用下，向相反的一侧滑动，进而实现打磨衬砌台车面板功能；纵向走行机构设计有沿衬砌台车纵向布置的行走轨道，行走轨道的一端固定安装卷扬机，在轨道内设有吊架，驱动机构设置于吊架内，卷扬机通过钢丝绳牵引吊架来回行走，进而实现对隧道衬砌台车整体打磨。

2) 打磨工艺参数设计研究及打磨头材料选择。打磨工艺参数设计见表1。

表1 打磨工艺参数设计

序号	设计参数项	参数值	备注
1	打磨带行走速度V	0.5m/min	
2	打磨带宽W	200mm	
3	电机功率	11KW	
4	电机转速	1440r/min	
5	减速机速比	19.72	
6	减速机输出轴转速	73 r/min	
7	打磨带打磨一个周期用时	0.82s	
8	配重重量	330kg	

打磨头的材料选择为钢丝刷，其直径大小为80mm，厚度35mm。

3) 多断面适用性研究。打磨装置与衬砌台车面板之间采用柔性打磨带摩擦接触，可以通过调节打磨带长度和调节与衬砌台车面板之间的紧密程度，在打磨驱动装置的牵引下即可实现多断面适用的功能。

4) 打磨设备效果与人工传统打磨效果对比分析及工程应用示范。我司研发的衬砌台车自动打磨设备成功应用于杭温铁路站前7标，有效的改善了衬砌混凝土外观质量，得到了业主、监理等单位的高度认可。现将打磨设备效果与人工传统打磨效果对比分析见表2。

表2 打磨设备效果与人工传统打磨效果对比分析

序号	对比项目	效果分析		备注
		自动打磨设备	传统人工打磨	
1	时效	0.8h/循环	5h/循环	
2	工效	打磨彻底，无死角	存在打磨不到的区域	
3	费用	35元/循环	800元/循环	

通过这四个方面的研究，确定衬砌台车面板打磨设备的设计结构、技术参数，再通过各配件的选型匹配，从而完成对现有衬砌台车进行升级改造，实现对衬砌台车面板进行打磨。

3.2.2 原衬砌台车升级改造

在保持原有衬砌台车结构和功能不变的基础上，利用衬砌台车面板和衬砌台车与衬砌混凝土表面之间的狭小空间，通过在衬砌台车底部安装行走机构、驱动机

构、曲柄摇杆机构,实现对衬砌台车整体模板进行自动化打磨,以电力系统驱动,进一步实现打磨绿色节能、零排放等。

整体衬砌台改造方案从以下几个方面进行:

1) 打磨设备整体布局。通过对衬砌台车面板与衬砌混凝土外表面之间的距离进行量测,以及对衬砌台车结构进行整体分析后,在不影响隧道衬砌施工正常工序和不影响衬砌台车安全使用的前提下,能够在狭小空间内实现对衬砌台车面板打磨及喷涂脱模剂是重要研究内容之一。本设备主要包含有打磨带、行走机构和摇臂传动机构,打磨带布置在存放的门架上,行走机构和摇臂传动机构均布置在衬砌台车底部,形成结构合理布局、安装简便、操作方便的使用效果。

2) 驱动机构。驱动机构由驱动电机、减速机和曲柄摇杆构成,驱动机构安装在吊架内,驱动电机与减速机相连,减速机的转盘与连杆铰接,连杆与摇臂传动杆铰接,摇臂传动杆的端头与并接钢板模块的钢丝绳连接。通过电力驱动使得其具有更稳定的频率,同时通过曲柄摇杆实现结构简化,在有限的空间内实现动力高效传递。

3) 配重装置。配重装置由配重小车和配重箱组成,材质均为钢材,配重小车通过行走轮布置在纵向行走轨道内,配重箱布置在配重小车内部,其顶部通过钢丝绳与打磨带连接,配重重量为330kg。在摇臂向下运动时,通过打磨带牵引配重箱上升,在摇臂向上运动时,配重箱通过自身重量牵引打磨带向相反方向运动,进而实现打磨带在衬砌台车面板上打磨作业。

4) 行走机构。行走机构包括卷扬机和行走轨道,将吊架安装在行走轨道内,在行走轨道的一端固定安装卷扬

机,再通过钢丝绳将其与卷扬机连接,使得吊架可在轨道内往返行走,从而带动打磨带在衬砌台车上纵向行走。

5) 打磨装置。打磨带由钢丝绳、连接块和钢丝刷组成,将连接块等间距布置在钢丝绳上,每个连接块上固定2个钢丝刷,通过改变打磨带的长度和打磨带与衬砌台车面板密贴的松紧度可适用多断面打磨。

6) 端部存放打磨带门架。为了避免每次使用时需要人工将其抬放置衬砌台车面板上,在衬砌台车前端尾部设置存放打磨带的门架,门架与衬砌台车具有相同的截面变化特性,既不影响隧道衬砌台车正常使用,又能便于存放打磨带。

4 应用效果

根据衬砌台车打磨及喷涂装备的需求及工艺要求,首次自主创新研发了该设备,过程中完成了设计方案选择、打磨设备布置方案反复优化与改进、曲柄摇杆机构的设计与选择、驱动电机和卷扬机的选型等工作,最终完成对现有衬砌的台车的升级改造,使其具备打磨及喷涂功能。经实际使用后发现效果良好,台车面板清理彻底、脱模剂喷涂均匀。主要研究成果有:授权发明专利《一种衬砌台车模板自动化打磨设备及其使用方法》;授权实用新型专利《一种多功能衬砌台车打磨装置》和《一种隧道衬砌台车打磨机构及隧道施工设备》。

杭温铁路站前7标通过对衬砌台车改造,应用打磨和喷涂设备可大量减少劳动力的使用,提高工效,经济效益显著。传统人工打磨按6(人/班)、一次打磨长度按12米计算,衬砌台车打磨及喷涂设备按10台、8万元/台计算,详细经济效益对比见表3。

表3 经济效益对比分析表

序号	对比项目	所需费用(元)	节约资金(万元)
1	人工打磨及喷涂机具费用	$3 \times 6 \times 160 \times 10 = 28800$	$(1+3)-(2+4)=122.88$
2	自动打磨及喷涂设备费用	$80000 \times 10 = 800000$	
3	传统人工打磨人工使用费	$24000 \div 12 \times 6 \times 200 = 2400000$	
4	自动打磨及喷涂设备人工使用费	$24000 \div 12 \times 1 \times 200 = 400000$	

经计算,在单台衬砌台车打磨及喷涂设备工作长度大于924米时,使用该设备更具经济效益。

5 结语

隧道衬砌台车自动打磨机设计的提出,是隧道工装工艺的改进,符合了标准日益提高的铁路和公路隧道建设的总体要求,本次研究设计解决了隧道衬砌台车打磨工效低,效果差的实际问题;该设计目前在重量控制上还有的提升空间,需要再后期的实践中继续优化改进;远程监控打磨效果以及远程控制仍需要进

一步探究。

参考文献

- [1]张雷,刘加秀,张卢云.隧道施工二衬台车的自动喷涂技术分析与研究[J].铁道科学与工程学报,2017,14(6):1253-1258.
- [2]郑莉.隧道二衬台车涂装设备的开发与应用[J].塔里木大学学报,2019,41(2):84-88.
- [3]张浩,张杨,于海.基于机器人技术的隧道二衬台车喷涂机器人研究[J].机械设计与制造工程,2020,49(4):218-221.