新型智能衬砌台车施工自动控制系统研究与应用（字体用方正黑体简体，字号用小二）

王百泉[1，2]（字体用方正楷体简体，字号用四号）

（1. 中铁隧道勘察设计研究院有限公司， 广东 广州　511458； 2. 中铁隧道局集团有限公司隧道结构智能监控与维护重点实验室， 广东 广州　511458）（字体用方正楷体简体，字号用五号）

摘要：（字体用方正黑体简体，字号用小五）为减少隧道二次衬砌空洞、裂缝、掉块等病害，解决普通衬砌台车在隧道衬砌施工中存在的搭接部位易损坏、浇筑量状况不能有效监控、拱顶不能有效振捣等问题，结合新型智能衬砌台车功能设计方案和传统施工工艺，基于引进信息化、智能化设计理念，研发出一套集成台车浇筑状况、台车布料系统、台车振捣系统、顶部压力监测、搭接监测系统、台车液压系统、侧部压力监测、行走控制系统、衬砌数据报表等功能的新型智能台车施工自动控制系统，并应用在张吉怀铁路 1 标吉首隧道。结果表明：该系统可实现衬砌施工自动化、信息化和智能化，极大提高衬砌施工自动化水平，降低工人劳动强度，有效减少衬砌背后空洞，提高衬砌施工质量。（字体用方正书宋简体，字号用小五）

关键词：（字体用方正黑体简体，字号用小五）智能衬砌台车；隧道；拱顶振捣；浇筑量；自动控制；自动监测（字体用方正书宋简体，字号用小五）

中图分类号： U 45　　　文献标志码：A　　　（“中图分类号：”　“文献标志码：”字体用方正黑体简体，字号用小五）

（后面内容字体用方正黑体简体，字号用小五）

Research and Application of Automatic Control System of New Intelligent Lining Trolley Construction（字体用书宋，字号用三号，加粗）

WANG Baiquan[1, 2]（字体用书宋，字号用小四）

(1. *China Railway Tunnel Consultants Co., Ltd., Guangzhou 511458, Guangdong, China;* 2. *Key Laboratory of Intelligent Monitoring and Maintenance of Tunnel Structure, CRTG,*)*（字体用方正书宋简体，字号用五号，斜体）*

Abstract: （字体用方正黑体简体，字号用五号） During the construction of tunnel lining by

基金项目：国家

作者简介：王百泉（1983—），男，河南洛阳人，2006 年毕业于南阳理工学院，机械设计制造及其自动专业，本科，高级工程师，现从事机械工程技术管理与研究工作。E-mail：910611791@qq.com。

（：“基金项目：”“作者简介：”字体用方正黑体简体，字号用 8 号）（后边内容字体用方正书宋简体，字号用 8 号）

conventional lining trolley, many problems exist, i.e. hollows, cracks and falling blocks of secondary lining, easy damage of joint part, low-efficiency of pouring condition and insufficient vibration of crown. A new intelligent trolley construction automatic control system integrating functions of trolley pouring condition, trolley cloth system, trolley vibration system, top pressure monitoring, joint monitoring system, trolley hydraulic system, lateral pressure monitoring, walking control system and lining data reports is developed based on functional design scheme of new intelligent lining trolley, traditional construction technology, and informational and intelligent design concepts. The system was applied to Bid No.1 of Jishou Tunnel on Zhangjiajie-Jishou-Huaihua Railway. The applicable results show that by adopting the new intelligent trolley construction automatic control system, the automatic, informatized and intelligent lining construction can be realized, the automation level of lining construction can be greatly improved, the labor intensity of workers can be reduced, the hollow quantities behind lining can be effectively reduced, and the lining construction quality can be improved. （字体用方正楷体简体，字号用五号）

Keywords:（字体用方正黑体简体，字号用五号） intelligent lining trolley; tunnel; crown vibrating; pouring amount; automatic control; automatic monitoring（字体用方正楷体简体，字号用五号）

0 引言（所有一级标题字体用方正黑体简体，字号用小四）

（正文内容字体用方正书宋简体，字号用五号）

近年来我国铁路隧道建设得到了快速发展，铁路运营里程逐年增加，在开通的铁路线路中，隧道里程占据了较大的比重，铁路隧道风险及病害发生的次数也在不断增大。二次衬砌作为隧道施工的重要组成环节，直接影响着隧道结构的稳定及行车安全。由于传统浇筑工艺的缺陷，导致内部衬砌结构强度不足、衬砌厚度不足及衬砌背后空洞，进而引起混凝土开裂、掉块、脱空、渗漏水等病害。而衬砌混凝土质量通病产生的原因主要是隧道衬砌施工工艺、工装的技术要求等施工技术不能满足衬砌质量的要求。

普通衬砌台车在隧道衬砌施工中存在搭接部位易损坏、浇筑量状况不能有效监控、拱顶不能振捣

等问题，致使衬砌施工控制自动化水平低，施工工艺落后，存在工人劳动强度大、施工管理难度大。

在新型智能衬砌台车研究方面，国内已有不少专家学者进行了相关研究工作。姬海东等[1]对新型带压浇筑隧道数字化衬砌台车研究与应用进行了研究，通过引入数字化控制技术，一定程度上实现了衬砌施工的机械化、信息化和智能化；龚成明，等[2]针对一种可带模注浆的新型铁路隧道衬砌台车开展了相关研究，通过预埋RPC注浆管并注入高流动性微膨胀早强缓凝充填砂浆,有效解决了传统二次衬砌空洞缺陷整治难的问题；梁爽[3]对隧道衬砌台车轻型化及其应用进行了分析与研究，通过计算与数值模拟，对台车结构进行了优化；张秀文等[4]对带模注浆新型铁路隧道衬砌台车施工技术的优化进行了分析，通过增加纵向注浆管并使之连通径向RPC注浆管，优化了注浆技术，克服了注浆管易被堵塞的问题；张华[5]对隧道衬砌逐层逐窗浇筑及带模注浆技术的应用进行了研究，确定了衬砌逐层逐窗浇筑及带模注浆技术浇筑的混凝土饱满、密实，能有效解决拱顶衬砌厚度不足及脱空问题；付春青等[6]对穿行式数控衬砌台车及其在地铁中的应用进行了研究；余振华[7]对隧道衬砌台车快速定位系统进行了研究；姜良波等[8]对建筑施工混凝土振捣技术的发展及应用进行了分析，归纳了混凝土振捣技术的特点；叶阳升等[9]等对铁路桥梁路基隧道关键工序监控技术进行了研究，提出了隧道衬砌混凝土灌注密实监测系统的技术方案与系统设计。

虽然已有相关学者开展了新型带压浇筑隧道数字化衬砌台车的研究，简要介绍了智能控制系统对于台车定位、台车浇筑状态、拱顶压力检测等方面的功能设计与初步应用情况，但并未对新型台车智能自动控制系统进行系统的研究与分析。

本文依托张吉怀铁路1标吉首隧道施工需求，结合新型智能衬砌台车功能设计方案，研发了一套新型智能衬砌台车施工自动控制系统，集成了台车浇筑状况、台车布料系统、台车振捣系统、顶部压力监测、搭接监测系统、台车液压系统、侧部压力监测、行走控制系统、衬砌数据报表等功能，实现了衬砌浇筑过程中混凝土浇筑量、温度和压力检测，对衬砌施工过程进行自动化控制，极大提高了衬砌施工自动化水平，降低了工人劳动强度，提高了衬砌施工质量。

1　依托工程概况

张吉怀铁路位于湖南省西部，线路全长246km。ZJHZQ-1标位于湘西土家族苗族自治州古丈县和吉首市境内，标段全长12.162km，工程包括隧道1座（吉首隧道）。吉首隧道全长12.162km，共设置辅助坑道4座，其中无轨运输平导1座，无轨运输斜井2座，无轨运输横洞1座。该隧道为全线第一长隧，属I级高风险隧道，除进口段1.3km为灰岩地层外,其余地段均为泥质粉砂岩,Ⅲ级围岩占6%、IV级占78%、V级占16%为单洞双线隧道。张吉怀铁路1标工程见图1。

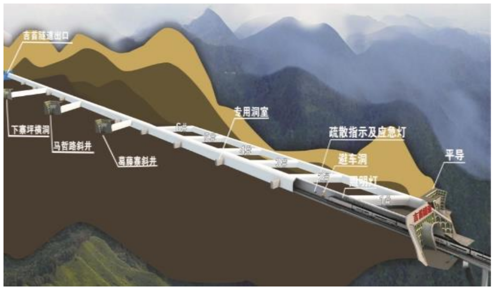

图1　张况（字体用方正黑体简体，字号用小五）

Fig. 1　Project profile of Bid Zhangjiajie-Jishou-Huaihua （字体用方正书宋简体，字号用小五）

2　设计方案研究

2.1　总体方案设计(所有二级标题字体用方正书宋简体，字号用小五）

隧道衬砌施工的自动化控制系统基于可编程序控制器PLC开发，通过PLC丰富的数字、模拟量接口与相应的检测终端通信，通过程序控制实现了拱部混凝土浇筑流量、温度、总浇筑量以及台车拱顶和起拱线压力等信息的自动监测，其中，压力监测与显示在混凝土浇筑时持续至台车脱模全过程。同时通过液压系统集成和PLC组态实现了液压、行走控制及混凝土分配器、拱顶振捣控制。自动化控制系统立体结构示意简图见图2。

表1（字体用方正黑体简体，字号用小五）

Table 1（字体用方正书宋简体，字号用小五）

（表内内容字体用方正书宋简体，字号用六号）

2.1.1　总体方案设计（所有三级标题字体用方正书宋简体，字号用小五）

4　结论与建议

新型智能衬砌台车施工自动控制系统的成功应用，实现了对衬砌浇筑过程中的混凝土浇筑量、温度和压力等功能的自动化监测和信息化控制，提高了隧道衬砌施工效率，确保了衬砌施工质量。

1）基于可编程控制器PLC控制系统 ,通过方案设计与系统集成，实现了拱部混凝土浇筑流量、温度、总浇筑量以及台车拱顶和起拱线压力等信息的自动监测。

2）隧道衬砌台车施工自动控制系统能够实现隧道衬砌施工的信息采集和自动化控制，完善了隧道衬砌施工质量监控和控制措施，减少了隧道病害发生概率，提高了施工质量。

3）实现了隧道衬砌施工过程信息可视化，能够实时了解隧道衬砌浇筑过程的混凝土状态，为隧道衬砌施工过程管理提供了有效的数据信息，提高了施工组织管理水平。

4）提高了衬砌台车施工的自动化水平，降低了工人劳动强度，提高了施工效率和混凝土振捣效果，保证了施工质量。

下一步可通过对隧道衬砌施工数据库的施工数据进行深入分析，并考虑是否可以搭载混凝土脱模强度检测方法或系统，不断完善隧道衬砌台车施工自动控制系统，提高施工控制水平。

参考文献（References）:（字体用方正黑体简体，字号用小五）

（下边内容字体用方正书宋简体，字号用小五）

[1]　姬海东，刘在政，张海涛.新型带压浇筑隧道数字化衬砌台车研究与应用[J].隧道建设（中英文），2018，38（8）:1384.

JI Haidong, LIU Zaizheng, ZHANG Haitao. Research and application of a new type of digital tunnel lining trolley with pressured casting [J]. Tunnel Construction, 2018, 38 (8): 1384.

[2]　龚成明，朱嘉斌，代鸿明．一种可带模注浆的新型铁路隧道衬砌台车[J]．现代隧道技术，2016，53（4）: 185.

GONG Chengming, ZHU Jiabin, DAI Hongming. A new type of railway tunnel lining jumbo with grouting through molds [J]. Modern Tunnelling Technology, 2016,53 (4) : 185.