

隧道掘进机工作监控系统的开发与应用

王成志, 刘子旗

(中交一航局第三工程有限公司)

摘 要: 大连湾海底隧道光明路项目隧道内施工环境恶劣, 设备操作人员有效工作时间较少, 设备正常启动后无负荷运转, 无效工作的情况时有发生。为解决铣挖施工效率较低, 隧道进尺缓慢的问题, 提高非爆破隧道开挖效率, 通过引入隧道掘进机电流监测设备, 对电流监测系统工作原理及应用进行分析, 利用 PC 端及手机端对建筑施工机电设备进行监管, 可快速判断设备所处的工作状态、具体班次、各种工作状态持续时间, 有效提高设备使用率 30% 以上。隧道掘进机工作监控系统有利于提高施工效率, 可广泛应用于工程施工的机电设备中。

关键词: 隧道掘进机; 电流传感器; 数字化; 铣挖效率; 智慧工地

0 引言

隧道掘进技术具有施工安全、劳动强度低、工作效率高及对环境影响小等优点, 是隧道施工的传统方法。隧道掘进机是一种高智能化, 且集机械、电气、液压、气动、激光、计算机和自动控制、网络控制技术等专业技术于一体的隧道施工重大技术装备。目前, 基于云平台的监测技术在通信、医疗、船舶及电力等行业应用比较广泛, 在机械制造业的应用相对较少, 尤其对于处于施工中隧道掘进机而言, 其状态监控手段仍以设备报警与人工处理相结合的半自动化形式为主, 先进检测技术及装备普及率较低, 检测效率、精度与基础设施精准修复尚存差距^[1-3]。为提升对设备工作状态的监控能力, 研发了以电流检测设备为核心的监控系统, 并应用于大连湾海底隧道光明路项目隧道内施工中, 提高了隧道掘进机的设备工作效率, 取得了较好的应用效果。

1 工程简介

1.1 工程概况

大连湾海底隧道光明路项目位于大连市甘井子区, 场地区域地层为素填土、含碎石粉质黏土、全风化辉绿岩、强风化白云岩、中风化白云岩, 暗挖隧道主要下穿中风化白云岩, 局部为中风化辉绿岩。中风化辉绿岩单轴饱和抗压强度标准值为 35.4 MPa, 天然单轴抗压强度标准值为 62.87 MPa, 天然单轴抗压强度最大值可达 70 MPa。且毗邻石油气厂, 基于生态安全保护和当地政府的要求, 采用东北地区首例全线非爆开挖硬岩隧道。

1.2 应用背景

光明路延伸工程一标段隧道工程中, 针对隧道“大断面、小净距、浅覆盖、高强度”的特点^[4], 隧道掘进施工采用铣挖工艺, 使用徐工 XTR7/360 悬臂式隧道掘进机进行隧道进尺的铣挖作业, 该设备额定电压为 1 140 V, 高速掘进电动机功率为 360 kW, 电压高用电量, 且隧道内高温、潮湿, 铣挖施工造成的粉尘量大, 施工环境恶劣, 工作条件艰苦, 设备操作人员有效工作时间较少。随着掌子面施工进尺逐步深入, 外界通讯信号逐步衰减, 作业人员进出不便, 导致施工效率统计受到了很大影响, 工序衔接不畅。针对以上问题, 了解目前市场针对悬臂式掘进机施工时间监控的软件均为进口设备, 购置或租用价格极高(购置价格约 120 万元, 包含软硬件及维保服务)。为保证隧道铣挖作业连续进行, 便于对施工效率的统计, 从设备工作原理出发, 经试运营及使用阶段总结研究, 形成了一套国产的用于悬臂式掘进机工作监控系统。

2 监控系统工作原理

监控系统以电流传感器为核心, 配合数据采集、传输、分析等单元模块构成。电流传感器是一种检测装置, 能感受到被监控设备主电缆电流的有无, 并能将检测到的信息按一定规律变换成为符合一定标准需要的电信号或其他所需形式的信息输出, 以满足所需设备工作状态信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。电流传感器三视图如图 1 所示。

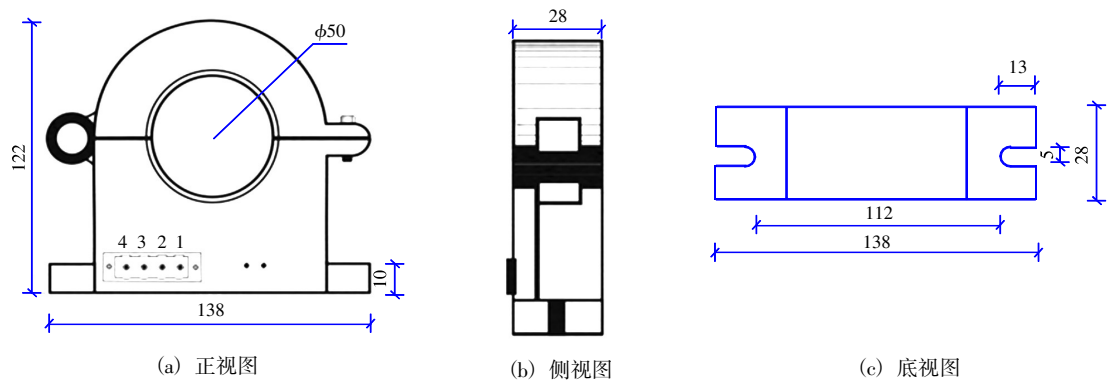


图 1 电流传感器示意图(mm)

在隧道掘进机矿用变压器(1.14/10 kV)的低压端或高压端均可设置该电流传感器,考虑用电安全及采集数据的方便和精准性,在光明路隧道工程中将传感器置于变压器低压端至馈电开关的线路上,采集的数据通过移动网络进行传输,其位置位于洞口,远离隧道前方施工作业面,使用安全且操作方便可靠,便于维护。

电流分析属于信号分析的范畴,故信号分析的部分方法也可以用于当前场景。通过支持向量机(svm)模型构建仪器的电流和状态的对应关系,实现对仪器状态的监控。该方法需要事先得到仪器不同状态下的电流数据,然后人工为样本打上标签后再对模型进行训练,利用训练后的模型对电流进行识别。但面对海量数据,每台都进行人工标注、训练、拟合,成本太高。

计算阈值也是一种方法,阈值通过聚类或者其它算法给出,利用电流值与阈值的比较来判断仪器的状态。

最终确定隧道掘进机电流监控设备的工作原理是通过工控级电流传感器实时采集掘进机主电缆回路电流,通过对预先设定好的电流值,智能识别机械的工作情况,并记录至云服务器。系统通过这些记录统计分析隧道掘进机工作周报表、月报表。隧道掘进机监控系统工作原理如图 2 所示。

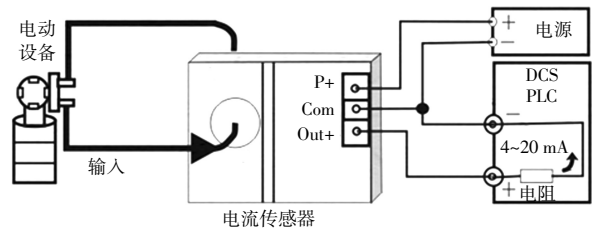


图 2 隧道掘进机工作监控系统工作原理图

3 隧道掘进机工作监控系统

本设备使用的工控级电流传感器技术先进、测量精度高。该电流传感器将多点零磁通技术系统应用于现有高精度直流传感器技术之上,激励磁通闭环控制技术、自激磁通门技术及多闭环控制技术相结合,实现了对交流磁通的零磁通闭环控制,并通过构建高频纹波感应通道实现了对高频纹波的检测。

隧道掘进机监控系统首先采集隧道掘进机的电流数据,将电流数据按照算法处理后生成样本集,再采用改进的聚类算法进行聚类,按照评价系数找到最佳的聚类结果,得到最终的簇。根据簇结果衔接当前仪器关机态、待机态和工作态,通过簇与隧道掘进机状态的关系对应,即可计算出仪器的工作时长。根据采集隧道掘进机的电流数据变换成样本集后,计算每个样本与所有簇的相似度,取其中最高相似度的簇代表该样本的状态,从而实现快速计算工时目的^[7-8]。

4 隧道掘进机工作监控系统在工程中的应用

在光明路延伸工程隧道施工中,使用的隧道掘进机工作监控系统其设备采用先进的 B/S 架构,隧道现场电流传感器采集的数据通过 4G 户外串口透传的工业路由器直接传输到云服务器,电流检测设备平面布置如图 3 所示。隧道掘进机监控系统首先采集隧道掘进机的电流数据,将电流数据按照算法处理后生成样本集,再采用改进的聚类算法进行聚类,按照评价系数找到最佳的聚类结果,得到最终的簇。根据簇结果衔接当前仪器关机态、待机态和工作态,通过簇与隧道掘进机状态的关系对应,即可计算出仪器的工作时长。根据采集隧道掘进机的电流数据变换成样本集后,计算每个样本与所有簇的相似度,取其

中最高相似度的簇代表该样本的状态,从而实现快速计算工时目的。

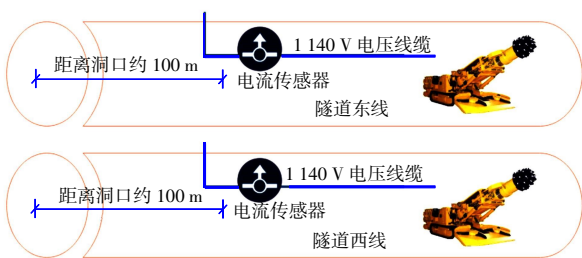


图 3 电流检测系统设备平面布置图

具体分为 3 步:

1) 数据集建立

从仪器管理系统中获取隧道掘进机的电流数据,包括关机电流、待机电流、工作电流,然后对获取的电流数据进行处理,将电流数据转换成一定结构的数据集。

2) 数据分析

对获取的数据集进行特征变换,将数据集转换为样本集后按照改进的聚类算法进行聚类,每个聚类结果对应 1 个簇,根据聚类结果评价系数找到最佳聚类数。

3) 工时计算

对所得簇与铣挖机的状态之间做如下映射:电流均值最小的簇对应铣挖机关机态、电流值均

值次小的簇对应铣挖机待机态、其余簇对应铣挖机的工作态。若所得簇个数为 2,那么做如下映射:电流均值较小的簇对应铣挖机关机态、电流均值大的簇对应铣挖机工作态。最后将对应的簇存储到云端。再次获取到铣挖机的电流数据时,仅需要通过将数据转换为样本集,再计算每个样本与每个簇的距离,每个样本与距离最近的簇代表的状态相同。此时,可以快速计算出铣挖机的工作时长,数据传输及服务器架构图如图 4 所示。

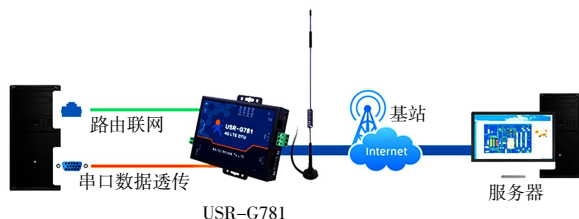


图 4 数据传输及服务器架构图

通过监控主电缆通过的电流大小判断悬臂式掘进机的工作状态,在智慧工地平台上可以快速得知该日悬臂式掘进机的开挖作业时间(PC 端掘进机工作时间数据看板见图 5),便于从施工角度合理安排工序,缩短各工序衔接的时间,同时参考电流强度,可从一定程度上反映隧道暗挖的地质情况。

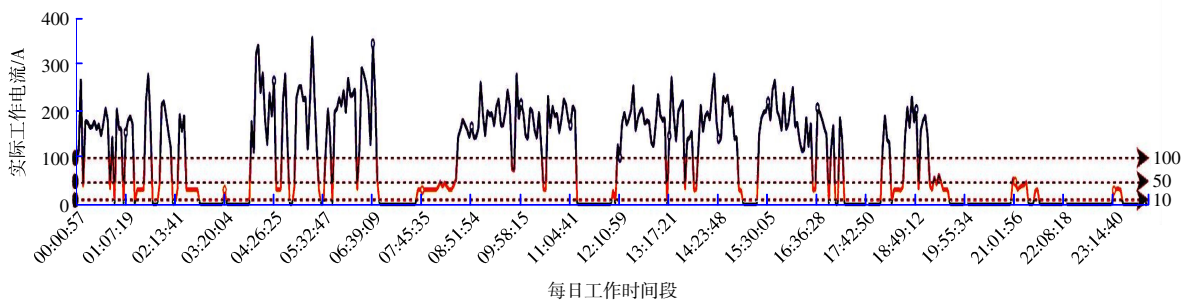


图 5 PC 端掘进机工作时间数据

5 应用效果

在光明路延伸工程隧道施工中,隧道电流检测系统设备的应用,有效提高了隧道掘进设备的使用率,激发了操作人员的积极性,间接减少了设备的故障频率,提高了施工效率和隧道每日进尺量,安装电流监控系统设备后每日的进尺量由原来的约 1.5 m 提高至 2 m 左右,2022 年 5 月的进尺量为 80 m,突破了此次工程施工以来的最高记录。最终该项目比要求工期提前 95 d 完成贯通,为工程全线贯通奠定坚实基础。

6 监控系统的特点

隧道掘进机监控系统的应用,通过对指定掘进设备电流的实时监控,可快速的判断该设备处于何种工作状态、具体班次、有效工作时间,极大的提高了设备利用率,为隧道施工班组工作标准提供了有力的数据支持,更有效地激发了施工操作人员的积极性和紧迫感。

通过隧道电流检测系统设备的应用,使设备维修人员及时掌握设备有效工作时长,便于对设备的维护保养工作做出理性判断,例如设备达到

指定工作时长时及时加注润滑油、更换液压油、加固螺栓、更换截齿等。在保证设备正常维护的同时,减少劳动量,节约资源。

依据隧道电流检测系统设备负荷工作时电流的大小及变化趋势,可快速对隧道围岩的变化作出判断,及时调整施工工艺和施工顺序,并对掘进机截齿种类的使用和检查更换频率做出调整,降低截齿损耗,节约成本。

隧道掘进机监控系统与国外已有的类似配套监控系统对比,功能相对单一,且只反映设备的工作电流,不能整体反映设备工作动态轮廓,画面感不强,整体性不强,观感较差。但也有一定的优点:1) 该系统设备不需要在掘进机上安装繁琐的传感器、监控器等设备;2) 隧道内灰尘较大、可见度低、环境恶劣、信号极不稳定,该系统设备无需进洞安装,在洞外掘进机主电缆上安装传感器即可,实时监控设备电流,准确度较高,且不易受外界环境因素和人为干扰,稳定性强,可信度高。

7 在项目施工领域的推广和应用

掘进机电流监控设备构造简单,安装方便,在施工工程领域其推广应用范围更广泛。在电流监控的基础上,隧道掘进机监控系统可开发出更多实用性更强的功能,目前已将个人通讯手机与服务平台建网沟通,设备在启动和关闭的操作频次及时间上,能够及时的通过短信方式通知管理人员,即使不进入APP程序也能大概了解设备所处的工作状态,接下来准备将设备工作报表定时发送至管理人员手机上,以便及时查看了解设备每日、每周和每月的具体工作效果。

不同电压等级的用电设备只需匹配相应电压等级的电流传感器即可实现监测功能,其他设施设备可多次转场重复利用,进一步降低成本。在

施工工程领域,不仅是隧道施工设备,在混凝土拌合站、龙门吊、塔吊、架桥机及各种大中小型钢筋加工设备等均可广泛应用。通过电流监测系统设备,现场管理人员可随时随地了解所有设备工作状态,提高工效的同时也更有利于设备的维护保养,且投资成本相对较低,性价比较高。

8 结语

隧道掘进机构造简单,操作方便,移动灵活,造价偏低,在今后的隧道施工中,应用频率也会逐步提高,而电流监测系统在隧道掘进机中的应用,不仅安全可靠,还提高了设备的使用效率和智能化管理层次,进一步加快了掘进机铣挖工艺的发展。隧道掘进机工作监控系统的应用便于及时有效地掌握施工现场的情况,智能化管理实时掌控生产信息,可以辐射更多领域的机电设备,应用前景较广。电流监测系统作为智慧工地监控系统的子系统部分,目前研究功能相对较为单一,应用设备类型较少,值得开发的项目还有很多,发展前景广阔。

参考文献:

- [1] 周文波. 盾构法隧道施工技术及应用[M]. 北京:中国建筑业出版社,2004.
- [2] 王超,张立超,彭晴晴. 面向产业安全的中国隧道掘进机产业前景展望[J]. 中国软科学,2014(10):43-50.
- [3] 《中国公路学报》编辑部. 中国交通隧道工程学术研究综述·2022[J]. 中国公路学报,2022,35(4):1-40.
- [4] 黄永忠,颜炳杰. 既有隧道间新建小净距大断面四车道隧道动态施工监测技术[J]. 现代隧道技术,2010,47(1):45-49.
- [5] 江飘. 地铁区间隧道悬臂掘进粉尘扩散机理及防控对策研究[D]. 贵州:贵州大学,2021.
- [6] 李晓营. 传感器与测试技术(第2版)[M]. 北京:高等教育出版社,2019.
- [7] 何壮壮. 智能电网中数据处理技术的应用研究[D]. 北京:华北电力大学,2016.
- [8] 刘青云. 压缩机故障检测算法的研究[D]. 赣州:江西理工大学,2020.