

基于施工人员日常行为数据的轨道交通工程 现场安全状态评价与管理

尹大伟¹ 韩翔宇¹ 朱 梅¹ 肖喜猛¹ 胡文发²

(1. 济南市交通工程质量与安全中心, 250014, 济南; 2. 同济大学经济与管理学院, 200092, 上海)

摘 要 [目的] 轨道交通工程具有参与人员众多和影响因素复杂等特点, 安全管理一直是难点。数字化技术应用为提升轨道交通工程施工现场安全水平提供了新思路。因此通过数字化技术采集施工人员日常行为数据, 并基于此研究轨道交通工程的现场安全管理。[方法] 介绍了轨道交通工程数据采集系统的数据采集、处理、分析方法。通过所采集的轨道交通工程施工人员的考勤和现场行为等实时数据, 应用线性回归方法分析施工人员日常行为数据与施工安全管理的关系, 进一步通过系统聚类方法和多维尺度方法分析轨道交通工程安全状态。通过实际应用案例验证了该方法的有效性, 并结合该工程情况给出了可行的安全管理建议。[结果及结论] 现场施工人员的日常行为与轨道交通工程项目安全生产状态直接相关; 安全检查、安全教育培训等是影响轨道交通工程安全状态的主要因素; 通过对施工人员现场行为进行管理可提升轨道交通工程安全生产状态。

关键词 轨道交通工程; 安全管理; 数据采集; 数据处理

中图分类号 TU714: U231.3

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2025.05.012

Evaluation and Management of Rail Transit Project On-site Safety Status Based on the Daily Behavioral Data of Construction Workers

YIN Dawei¹, HAN Xiangyu¹, ZHU Mei¹, XIAO Ximeng¹, HU Wenfa²

(1. Jinan Transportation Engineering Quality and Safety Center, 250014, Jinan, China; 2. Tongji University, School of Economics and Management, 200092, Shanghai, China)

Abstract [Objective] As rail transit projects feature a large number of participants and complex influencing factors, safety management is always a challenge. The application of digital technology provides a new idea for improving the safety level of the construction site of rail transit projects. Therefore, digital technology is used to collect the daily behavioral data of construction workers, and based on this, the on-site safety management of rail transit projects is studied. [Method] The data

collection system for rail transit projects is introduced in terms of data collection, processing, and analysis methods. With the collected real-time data, such as the attendance and on-site behaviors of construction workers in rail transit projects, the linear regression method is applied to analyze the relationship between the daily behavioral data of construction workers and the construction safety management. Furthermore, the system clustering method and the multi-dimensional scaling method are used to analyze the safety status of rail transit projects. The effectiveness of this method is verified through the practical application case, and feasible safety management suggestions are given according to the situation of the case project. [Result & Conclusion] The daily behaviors of on-site construction workers are directly related to the safe production status of rail transit projects. Safety inspections, safety education and training, etc. are the main factors affecting the safety status of rail transit projects, and managing the on-site behaviors of construction workers can improve the safe production status of rail transit projects.

Key words rail transit project; safety management; data collection; data processing

0 引言

由于轨道交通工程具有参与人员众多、影响因素众多、协调关系复杂等特点, 安全管理一直是轨道交通工程施工的重难点。目前, 我国建筑安全生产形势呈现好转态势, 但安全事故仍时有发生, 造成人员伤亡和财产损失。安全生产是工程施工的核心, 是工程能够顺利进行的基础, 是获得效益的前提和保障。因此, 如何采取切实有效的措施提高轨道交通工程安全管理水平、降低事故发生率, 是十分重要的议题。数字技术应用为收集轨道交通工程施工现场数据提供了便利。施工现场的大量数据看似杂乱无章, 却蕴含着许多有价值的信息, 可为管理人员提供决策支持。近年来, 信息技术的

发展为轨道交通工程施工安全管理的数据实时采集和处理提供了新的思路。文献[1]建立了以施工人员、机械、物料、方法和环境等要素为核心的数据采集平台,并利用颗粒物检测仪、龙门吊数据采集仪、盾构机数据采集仪、红外对射探测器等获取施工现场的实时数据。文献[2]提出使用多项智能化监测设备采集项目施工现场各类信息,并开发安全管理平台,制定安全管控标准。文献[3]针对风险较大的基坑、盾构隧道和联络通道工程,提出对位移、轴力、沉降、测斜、水位、收敛等控制参数的监测和分析,通过数据采集、数据统计、数据分析、数据比对等方法,实现对相关施工数据的有效利用。文献[4]提出将 BIM(建筑信息模型)与监测点数据相结合,并加入数据接口,实现监测数据在模型中呈现的效果,不仅可极大提高查看监测数据的效率,而且能很好地支持风险决策。文献[5]使用多源信息融合技术对深基坑水平位移进行监测,在被测点位置安装无源感知模块,通过安全信息收集塔和被监测点之间的相对位移数据来判断监测点处的问题和变形数值。文献[6]提出了基于区块链的铁路工程施工安全监测数据共享模型,为链上监测数据提供了防篡改性。

然而,上述文献主要致力于对施工某一环节或工艺的监测和数据处理,而很少将施工全过程中施工人员的行为表现作为监管对象。人是施工生产活动的主体,对轨道交通工程安全的管理很大程度上体现在对人的管理。针对施工人员的安全管理,文献[7]采用图像识别技术中的目标检验算法对施工现场作业人员的安全帽佩戴行为进行识别,实现对施工现场人员风险行为的检测与识别,实现对轨道交通工程施工人员安全行为的实时监控和预警,但缺乏对轨道交通工程安全影响因素的探讨和对不安全行为数据的后续分析。数据处理和分析的方法有很多,包括回归、聚类、关联等,对于各类数据处理方法的应用也已经取得了很多研究成果。文献[8]采用层次分析方法,设计监测层次结构,结合模糊评价矩阵,判断民生引水枢纽除险加固工程闸体施工安全等级的监测结果,能够实现除险加固工程闸体施工安全监测的目标。文献[9]采用 DEA 方法对公路工程施工现场的安全管理绩效进行研究,分析了各评价指标对安全管理效率的灵敏度。文献[10]通过文本挖掘技术对施工安全隐患记录进行标准化,提取出 111 个安全隐患特征,并对隐患

特征进行层次聚类,构建了安全隐患特征网络,提出了一种基于特征数据驱动的安全隐患预警策略。

综上所述,虽然针对数据采集和分析方法进行了广泛研究,但目前尚未有学者重点针对轨道交通工程施工人员的安全管理数据,尤其是不安全行为数据进行研究和探讨。通过对轨道交通工程施工人员安全管理数据的采集、处理和分析,将对施工人员的管理延伸到对轨道交通工程安全的管理,对改善轨道交通工程安全生产表现、减少安全事故的发生具有十分重要的意义。

1 轨道交通工程数据采集系统

建筑施工是一项复杂而工期较长的施工任务,在轨道交通工程现场,每天都会源源不断地产生有关安全状态的数据,例如施工人员每天的进出场信息、工作状态、安全行为和危险作业等信息,以及设施设备的设计和布局、施工机械的故障次数及故障原因等信息,其中很多数据会以文件、报表、电子文档等形式被利用和存储,但更多数据因为缺乏合适的数据采集方式而被忽视、被浪费。目前,我国的轨道交通工程多采用人工方式对数据进行采集和整理,这需要耗费管理人员大量的时间和精力,对人的经验、能力也有较高的要求,不仅效率低,而且常常会出现大量的遗漏和偏差,难以获得准确足量的数据用以进行可靠的分析。因此,在轨道交通工程中需要采用高效、快捷的数据采集技术,以提高数据采集的效率和准确性,为后续的安全管理提供可靠的信息。

1.1 安全状态监控数据选择

根据海因里希因果连锁论、轨迹交叉理论等各阶段事故致因理论的分析,人是施工安全生产活动的核心,人的不安全行为是直接导致安全事故的重要原因。这一结论在近年来轨道交通工程安全生产死亡事故发生的原因分析中也得到了印证。例如,2023 年 2 月 15 日,南京地铁工程施工中发生高处坠落事故,死亡 1 人。事故原因是作业人员未遵守高处作业相关规定。对于一个轨道交通工程施工项目,施工人员的安全状态很大程度上反映了工程的安全状态。当施工人员的表现良好时,发生安全事故的可能性较小,轨道交通工程的安全状态较稳定;当施工人员的表现不受控时,则意味着轨道交通工程安全状态可能面临问题,有可能导致安全事故的发生。除了施工人员的不安全行为表现,其

考勤表现也一定程度上反映了工地的组织与纪律是否良好、施工人员的工作态度是否认真。因此,本文将轨道交通工程施工人员作为数据采集的对象,重点针对施工人员的现场行为进行监控和管理,通过监控施工人员行为,提高施工安全生产水平。考虑到数据采集的可行性、便利性与经济性,轨道交通工程数据采集系统包括考勤信息采集、不安全行为信息采集两部分内容。

1.2 安全状态监控数据采集

施工人员考勤信息的采集可以通过在工地出入口安装指纹门禁实现。上岗之前,每位施工人员须预先进行指纹注册,注册后的所有指纹信息存储在数据库内。施工人员进出场时须经过指纹验证,验证通过后方可通过门禁进出工地现场,与此同时设备自动将考勤日期、进场时间、出场时间等考勤数据传入数据库。

施工人员的不安全行为是指施工人员在施工过程中,违反施工工艺要求、安全操作规程或劳动纪律的行为,往往会直接或间接导致施工安全事故的发生,造成财产损失和人身伤亡。对施工人员的不安全行为的监管和数据采集主要依靠安全管理人员的日常检查,在巡检过程中,一旦发现不安全行为,应当立即拍照或摄像记录详细内容,并及时制止、批评教育,每日的不安全行为数据由人工录入数据库,以便用于之后的数据分析。

常见的施工人员不安全行为包括个人防护、文明施工、用电安全、模板工程、钢筋工程、高处作业、起重吊装等7类,需要安全员认真巡视、细心发现、严格管控。

2 数据处理与分析

通过各类设备直接采集的针对轨道交通工程施工人员的各项安全管理的原始数据,往往数量较多且杂乱无章,要想从混乱的现场数据中提取出有益于施工安全管理的信息,为管理人员提供帮助,需要对所采集到的数据进行一系列处理,主要包括数据预处理、数据列表及统计、数据分析。常见的数据分析方法有很多,在处理所采集到的原始数据时,应当充分考虑到数据的特点和分析的目的,然后进行恰当选择。本文主要运用线性回归分析方法对数据采集系统所采集到的数据进行处理、分析,希望能通过针对轨道交通工程施工人员的考勤信息、不安全行为信息的采集、处理和分析,发现施工人员各项表现与轨道交通工程安全状态的相关性,以期通过对施工人员的监控和管理实现对轨道交通工程安全的监控和管理。同时,应用系统聚类方法对影响轨道交通工程安全管理状态的主要因素进行分析,提出安全管理建议。数据处理流程如图1所示。

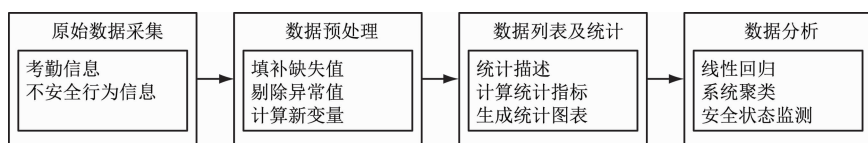


图1 数据处理流程

Fig. 1 Data processing flow

2.1 数据预处理

用作分析的监测数据应符合一定的要求,而在轨道交通工程施工过程中直接采集到的原始数据往往存在着缺失值、异常点或者缺乏一致性问题,因此在对数据进行相应的分析之前,应当对数据进行预处理,包括填补缺失值、剔除异常值、计算新变量等。常见的数据预处理方法包括聚类、分箱、回归等,并可以通过SPSS软件实现。应当根据数据处理的需要选择合适的数据预处理方法。经过预处理后的数据,相较于原始数据,能够更高效率、更有质量地产出数据分析结果,更好地起到判断、决策和预测等作用。

2.2 数据列表及统计

将所采集到的轨道交通工程原始数据进行预处理后,应对数据进行统计描述。统计描述是指将数据通过统计指标或者统计图表的形式表达出来,以体现数据的分布状态、数学特征等内容,使得获取的数据条理清楚,有利于后续的进一步分析。统计分析得到的平均值、极值、标准差等统计指标能用简单的数字有效反映出数据的某些重要特征,生成的各类统计图表则能更直观、形象地呈现数据特点,便于之后的对比或分析。

2.3 数据分析

要想从数据中提取出有用的信息,为施工管理

人员的决策提供支持,应选择合适的数据分析方法来挖掘数据之间的规律。常见的数据分析方法包括聚类分析、回归分析、关联分析等,应根据数据本身的特点和数据分析的目的进行选择。本文主要应用线性回归分析方法和系统聚类方法进行数据分析。考虑到计算量大,可借助 SPSS 软件进行分析。

线性回归分析主要是通过获取各个变量的若干数据,用一定的线性回归模型对数据进行拟合,以探究施工人员考勤表现、安全行为表现的数据是否与轨道交通工程当日的安全评分存在相关关系,希望能通过施工人员的表现真实反映出轨道交通工程每日的安全状态,监控轨道交通工程安全。线性回归模型的一般形式为:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_jx_j + \cdots + b_mx_m + \varepsilon$$

式中:

y ——响应变量,指轨道交通工程每日安全评分;

x_j ——解释变量,指施工人员每日安全评分, $j=1,2,\cdots,m$;

ε ——随机误差;

b_0 ——常数项;

b_j ——解释变量的回归系数。

回归系数表示在其他解释变量保持不变的时候, x_j 每增加或减少一个单位时 y 的平均变化量,体现了每个解释变量给响应变量带来的影响。线性回归模型建立后,还应当对模型进行评价和检验,包括通过判定系数 R^2 对模型拟合优度进行评价、通过 t 检验对单个偏回归系数作显著性检验,以及通过 F 检验对回归模型整体显著性进行检验。

聚类分析是指将数据集中的对象形成不同的聚类,使得同一个聚类中的对象具有较高的相似性,而不同聚类中的对象则尽可能相异。聚类分析的方法有很多,本文应用系统聚类方法进行分析,并借助多维尺度分析将聚类结果可视化呈现。

3 应用实例

3.1 工程概况

济南轨道交通3号线二期工程,起自一期工程终点滩头站后,终于遥墙机场站,线路全长约13.01 km,均为地下线。线路主要沿稻香路、明港西路、机场路、遥墙机场走行,设站6座,平均站间距2.17 km。稻香站总建筑面积约为14 662.75 m²,川流站

总建筑面积约为15 430.55 m²,向阳站总建筑面积约为19 186.56 m²,临港站总建筑面积约为16 748 m²,机场南站总建筑面积约为19 649 m²,遥墙机场站总建筑面积约为19 341.9 m²。工程开工日期为2021年3月,工程建设总工期为36个月。

3.2 数据采集与预处理

自工程开工日开始,在施工项目进行的过程中,通过工地出入口指纹门禁打卡等方式,采集该工地每日的施工人员的出场考勤、不安全行为的原始信息,经过整理后得到每日进场人数、迟到早退总次数、不安全行为总次数等数据。借助 SPSS 软件对数据进行预处理,填补缺失值、剔除异常值、计算新变量,得到经过预处理后的人均迟到早退次数、人均不安全行为次数等数据,用于之后的分析。同时,在工程的前3个月时间里,请监理工程师根据工地每天的安全生产情况,结合自身的经验、知识对轨道交通工程一天的安全状态进行评分,满分为100分,评分结果也用于之后的分析。

3.3 安全状态数据回归分析

要想通过施工人员的考勤表现、不安全行为表现反映出轨道交通工程安全状态,需要应用回归分析方法将考勤数据和不安全行为数据与现场安全评分建立联系。分析得到回归方程后,可以仅通过对考勤数据、不安全行为数据的采集自动估算现场安全评分,实现对轨道交通工程安全状态的每日监测。将预处理后得到的迟到早退次数、不安全行为次数分别作为解释变量 x_1 和 x_2 ,现场安全评分作为响应变量 y ,借助 SPSS 软件对上述变量进行线性回归分析,结果如表1所示。

表1 施工人员日常行为与安全状态回归分析结果

Tab. 1 Results of the regression analysis for the daily behaviors of construction workers and the safety status

项目	回归系数	标准误差	Beta 系数	t 检验	显著性
常量	99.872	0.051		1 957.089	0
迟到早退	-7.840	2.167	-0.115	-3.618	0
不安全行为	-46.795	1.693	-0.882	-27.648	0

注: $b_0=99.872$, $b_1=-7.840$, $b_2=-46.795$ 。

由此可以得到线性回归方程为:

$$y = 99.872 - 7.840x_1 - 46.795x_2$$

对以上结果进行显著性检验,其中判定系数 (R^2) 为0.926,调整后的判定系数 (Adj. R^2) 为

0.925,说明迟到早退和不安全行为可以解释92.5%的现场安全评分。此外,根据SPSS软件分析结果, F 检验和 P 值检验均满足要求,意味着迟到早退和不安全行为两个变量的总体以及各单个变量与现场安全评分之间的关系是显著的,该模型能够较好地揭示解释变量与安全状态之间的相关性。由此可见,施工人员的考勤表现和不安全行为表现能较大程度地反映出工地的现场安全评分。施工人员的考勤表现越良好、被发现的不安全行为越少,则该工地当日轨道交通工程的安全状态越好。

3.4 主要影响因素聚类分析

针对影响轨道交通工程安全状态的因素,本文采用系统聚类分析方法进行分析。影响轨道交通工程安全状态的因素涉及人、物、管理和环境等多个方面,包括工人的经验及资历、材料及设备可靠性、安全教育培训、现场环境质量等。轨道交通工程安全状态影响因素层次结构图如图2所示。应用聚类分析方法可以发掘出轨道交通工程安全状态最主要的影响因素,找到轨道交通工程安全管理重点,为安全管理人员提供参考。

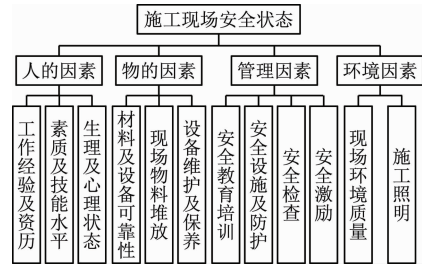


图2 轨道交通工程安全状态影响因素层次结构图

Fig.2 Hierarchical structure chart of the factors affecting safety status of rail transit projects

请监理工程师根据自己的经验和知识每月对该工地进行综合评判,评分内容包括 u_1 (安全教育培训)、 u_2 (安全设施及防护)、 u_3 (安全检查)、 u_4 (安全激励)、 u_5 (材料及设备可靠性)、 u_6 (现场物料堆放)、 u_7 (设备维护及保养)、 u_8 (工人生理及心理状态)、 u_9 (工人经验及资历)、 u_{10} (工人素质及技能水平)、 u_{11} (现场环境质量)、 u_{12} (施工照明)共12项影响轨道交通工程安全状态的因素,同时对每月的轨道交通工程安全状态(y)也给出评分。分数1至6分别表示非常优秀、优秀、良好、一般、合格、较差。打分结果如表2所示。

表2 工地每月各项评分结果

Tab.2 Monthly rating results of the construction sites

时间排序	各评分项目得分												y
	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6	u_7	u_8	u_9	u_{10}	u_{11}	u_{12}	
第1个月	2	2	2	2	3	2	3	2	1	1	3	3	2
第2个月	3	3	3	3	2	2	2	2	3	2	3	3	3
第3个月	3	3	4	4	4	5	5	2	3	2	3	3	4
第4个月	5	5	5	5	3	3	3	3	4	3	3	3	5
第5个月	4	4	3	4	3	4	3	2	2	3	5	4	4
第6个月	5	5	5	5	3	3	4	2	3	3	6	6	5
第7个月	5	5	5	6	3	3	3	3	3	4	4	3	5
第8个月	2	1	2	1	3	2	3	2	2	3	2	2	1
第9个月	5	4	4	4	2	3	2	3	4	3	3	3	4
第10个月	1	3	2	2	2	1	1	2	3	2	2	2	2
第11个月	5	4	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	4
第12个月	4	4	4	4	3	4	3	3	4	4	3	3	4
第13个月	3	3	2	3	2	3	3	2	3	2	3	2	2
第14个月	5	5	5	5	3	3	3	2	2	3	4	4	5
第15个月	4	4	4	5	5	4	5	3	3	3	3	3	4
第16个月	3	3	2	3	3	3	2	2	3	2	4	3	3
第17个月	3	3	3	3	2	3	2	1	2	2	3	3	3
第18个月	2	3	2	3	2	3	3	3	3	2	3	2	2

借助 SPSS 软件对以上 12 项影响因素进行系统聚类分析和多维尺度分析,得到的聚类谱系图及多维尺度可视化结果,如图 3—图 4 所示。

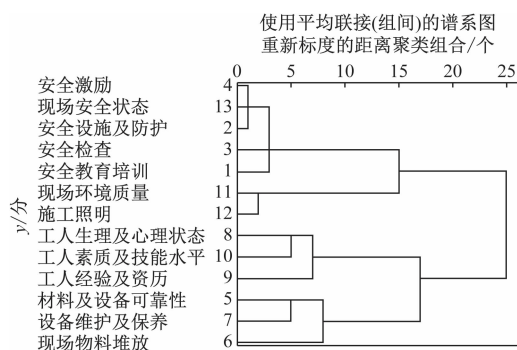


图3 安全状态影响因素系统聚类谱系图

Fig. 3 Systematic clustering dendrogram of the factors affecting the safety status

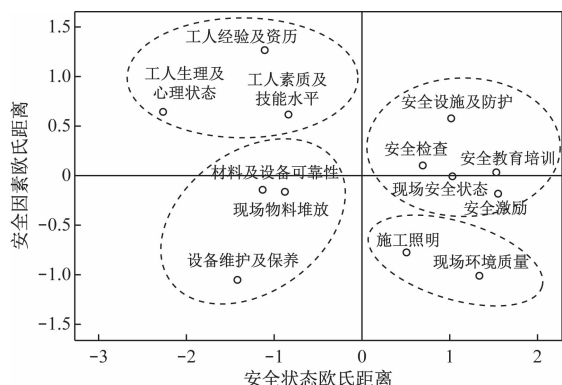


图4 安全状态影响因素多维尺度可视化结果

Fig. 4 Visualization results of the multidimensional scaling of the factors affecting the safety status

从聚类分析的结果可以知道,安全激励、安全设施及防护、安全检查和安全教育培训 4 个管理因素与现场安全状态的打分变化规律具有最高的相似度,表明这 4 个管理因素与轨道交通工程的安全状态具有较强的共振关系,是影响轨道交通工程安全的重要因素。因此,在轨道交通工程的安全管理中,为提升轨道交通工程安全生产表现,可以重点针对以上几个方面积极采取合理的措施。例如加大安全教育培训力度、完善安全设施及防护、提高安全检查频率、适当引入奖惩机制对施工人员进行激励,以实现施工安全状态的改善,最终降低事故发生率。

3.5 安全状态监控及安全管理建议

从线性回归分析结果可以看出,轨道交通工程的安全状态与的各项因素表现有明显的相关关系,

因此通过收集现场工人考勤和不安全行为信息,可以较好地估算轨道交通工程安全评分,实现对轨道交通工程安全状态的评估与监控。从系统聚类分析结果可以看出,安全检查、安全教育培训等管理因素对轨道交通工程的安全状态有较为显著的影响。通过采集工人的考勤数据和不安全行为数据,可以监控该工地采取不同管理措施前后的现场安全评分,验证部分管理因素对轨道交通工程安全状态的影响效果,并据此给出合理有效的轨道交通工程安全管理建议。

根据每天的现场安全评分,绘制该工地的每日现场安全状态监测图。结果表明该工地的现场安全评分主要在 97~99 分之间波动,施工安全状态较为稳定,未出现大幅度的波动。根据分析结果,给出如下轨道交通工程安全管理建议:

1) 在临近春节和重大节假日,由于工人思想不够集中,作业时易出现疏忽,各项表现均受到影响,从长期监测图可以看出安全评分临时下降,轨道交通工程安全状态有所下滑。当评分呈现下降趋势时,安全管理人员应该及时寻找状态下滑的原因,积极采取有针对性的措施,尤其在临近或刚结束节假日时更应加强对工人的监管,维持轨道交通工程安全状态的稳定。

2) 每月定期组织全体施工人员参加安全教育培训,内容主要包括必要的安全知识、机具设备及安全防护设施的性能和安全使用方法,以及新材料、新工艺、新设备的施工注意事项等,参加培训的施工人员通过指纹识别系统签到。从该工地安全状态监测图中可以看出,月初对施工人员进行集中安全教育培训之后,现场安全评分明显存在短时间的提升,并随着时间的推移逐渐恢复正常波动。由此可见,加强施工人员的安全教育培训对轨道交通工程的安全生产水平的提高有着积极的作用。因此,安全管理人员可以加大对施工人员的安全教育培训力度,适当增加安全教育培训次数,同时定期针对安全教育培训的内容进行考核,这有助于轨道交通工程安全生产水平的整体提升。

3) 为了更有效地进行管控,引入奖惩机制。该工地采取的具体措施包括:对迟到早退的、被发现不安全行为的施工人员进行一定的罚款,对长期出勤表现优秀、安全考核成绩优秀的施工人员给予适当的奖金,等等。引入奖惩机制一段时间后,从采集到的数据来看,施工人员的考勤表现、不安全行

为表现均有一定程度的改善;从监测图中也可以看出,轨道交通工程安全评分也出现了小幅度的提升,施工安全状态有一定的改善。可见,在轨道交通工程安全管理中,可以适当使用一些激励手段,这有利于对施工人员的管理,有助于轨道交通工程安全状态的提高。

4) 加强了对施工人员不安全行为的日常监管。例如,该工地要求安全员增加日常巡检次数,提高巡检力度,同时,要求安全员在巡检中及时制止和纠正不安全行为,并对存在不安全行为的施工人员进行批评教育。从采集到的数据中可以看出,该举措取得了较好的效果,施工人员的不安全行为得到了一定程度的控制;监测图中现场安全评分也有一定的提升,大部分时间能稳定在 98 分以上,轨道交通工程安全状态得到了改善。可见,在对施工人员的不安全行为进行管理时,加强轨道交通工程的日常监管是行之有效的措施。

4 结语

将数据采集与处理方法应用到安全施工管理中,实现各类信息的实时获取和及时反馈,可以实时监控评价轨道交通工程安全状态,及时发现问题,从源头监管施工安全,降低施工事故的发生率,提升轨道交通工程安全生产水平。本文通过采集轨道交通工程施工人员的考勤表现、不安全行为表现等安全管理数据,应用线性回归分析等方法对数据进行一系列处理和分析,探究施工人员的安全管理表现与轨道交通工程安全生产表现的相关关系,得到现场安全评分的线性回归模型。同时,根据济南市多个在建工地的专家打分结果,应用系统聚类分析方法对影响轨道交通工程安全状态的因素进行分析和多维度可视化呈现,得到安全检查、安全激励等管理因素是影响轨道交通工程安全状态的主要因素,该方面的措施应该是安全管理的重点。结合一个工程实例,通过对施工人员各项表现进行监控,实现了对轨道交通工程安全的监控和管理,并结合该工程情况给出了可行的安全管理建议。

参考文献

- [1] 谢玮成, 吴维国, 赖轩明, 等. 城市轨道交通工程施工数据采集与决策分析系统[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(12): 224.
- [2] 李俊松, 董佳淇, 汪明, 等. 基于 IFC 及 AHP 的轨道交通工程盾构施工安全管控信息标准与决策分析研究[J]. 铁道标准设计, 2023, 67(9): 116.
- [3] 谭绍玉, 丁伟. 信息化技术在城市轨道交通工程建设安全管理中的应用[J]. 中国安全生产科学技术, 2021, 17(增刊 2): 117.
- [4] 蒙国往, 黄劲松, 吴波, 等. 城市轨道交通建设工程施工安全风险信息管理信息化系统研究[J]. 城市轨道交通研究, 2022, 25(9): 90.
- [5] 魏汉明, 赵靓. 多源信息融合技术在轨道交通监控系统中的应用[J]. 山西电子技术, 2021(4): 48.
- [6] 刘玉红, 杨亮, 朴春慧, 等. 基于区块链的铁路工程施工安全监测数据共享关键技术研究[J]. 通信学报, 2021, 42(8): 206.
- [7] 李亚军. 基于 AI 技术的公路水运工程施工安全风险智能监测技术研究[J]. 工程建设与设计, 2022(23): 159.
- [8] 游世超. 民生引水枢纽除险加固工程闸体施工安全监测方法设计[J]. 水利科学与寒区工程, 2022, 5(9): 111.
- [9] 陈钊, 孙景楠, 周子龙, 等. 基于 DEA 方法的公路工程施工现场安全管理绩效评价研究[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2022, 19(1): 105.

XIE Weicheng, WU Weiguo, LAI Xuanming, et al. Construction

(下转第 80 页)

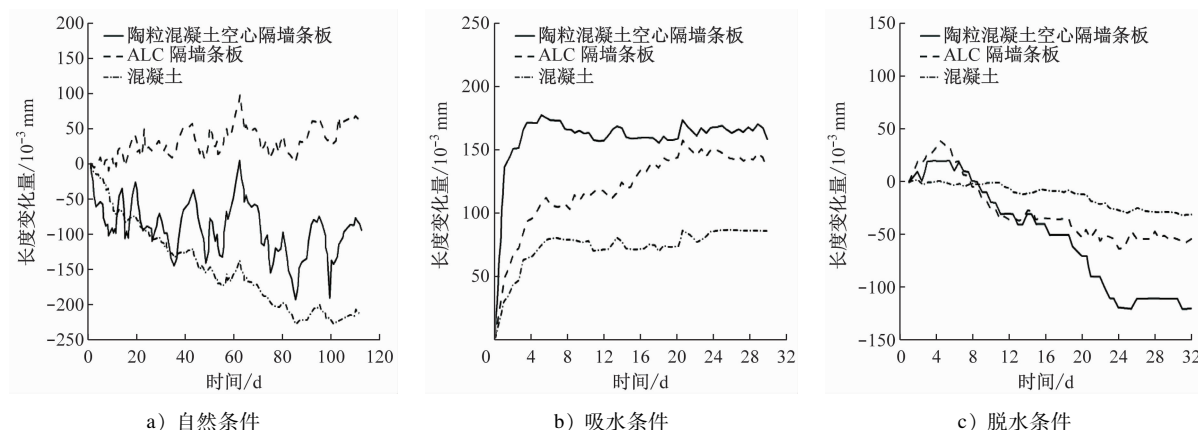


图8 3种隔墙条板在不同条件下的试件长度变化量对比

Fig. 8 Comparison of length changes for three types of partition wall panel specimens under different conditions

式。此外,本文提出了地铁车站预制内隔墙开洞方案;综合考虑吊装运输、抗震和抗风荷载影响,提出了包络性的预制条板配筋方案。最后,在不同环境温度、湿度条件下,研究了3种隔墙条板在自然条件下、吸水条件下和脱水条件下的试件长度变化量,提出地铁车站的预制内隔墙最优材料——陶粒混凝土空心隔墙条板。

目前,预制内隔墙在我国地铁工程中的应用尚处于起步阶段,其理论研究和案例参考尚不丰富,建议进一步加强预制内隔墙的试验研究和项目宣传,出台相关法规和技术规程,以推动其在地铁工程中进一步快速、持续、健康地发展。

参考文献

- [1] 刘传朋, 方文珊, 黄一昕. 《市域(郊)铁路设计规范》主要技术标准研究[J]. 铁路工程技术与经济, 2021, 36(5): 9.
LIU Chuanpeng, FANG Wenshan, HUANG Yixin. Research on

key technical standards of code for design of suburban railway[J]. Railway Engineering Technology and Economy, 2021, 36(5): 9.

- [2] 任天晔. 预制装配式结构在大型市政地下工程中的施工应用[J]. 城市道桥与防洪, 2018(1): 177.
REN Tianye. Application of prefabricated structure in construction of large-sized municipal underground project[J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2018(1): 177.
[3] 李大鹏. 广东民用建筑隔墙板的比较研究[J]. 广东建材, 2019, 35(12): 29.
LI Dapeng. Comparative study on partition board of civil buildings in Guangdong[J]. Guangdong Building Materials, 2019, 35(12): 29.

· 收稿日期:2023-03-04 修回日期:2023-07-30 出版日期:2025-05-10
Received:2023-03-04 Revised:2023-07-30 Published:2025-05-10
· 通信作者:李涛,高级工程师,005221@crfsdi.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(上接第 74 页)

- CHEN Zhao, SUN Jingnan, ZHOU Zilong, et al. Research on performance evaluation of safety management in road engineering construction site based on DEA method[J]. Journal of Changsha University of Science & Technology (Natural Science), 2022, 19(1): 105.
[10] 刘梅, 许林宇, 廖彬超, 等. 基于数据驱动的施工安全隐患特征网络分析与预警策略[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2023, 63(2): 191.
LIU Mei, XU Linyu, LIAO Binchao, et al. Data-driven network analysis of construction hazard characteristics and warning strategy

[J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2023, 63(2): 191.

· 收稿日期:2024-04-24 修回日期:2024-12-17 出版日期:2025-05-10
Received:2024-04-24 Revised:2024-12-17 Published:2025-05-10
· 第一作者:尹大伟,工程师,premieretx@yahoo.com
通信作者:胡文发,副教授,wenfahu@sina.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license