中关铁矿有轨运输巷底鼓变形监测分析及控制技术研究

王社光^{1,2},于庆磊³,于兴社^{1,2},蒲江涌³,杨志强^{1,2},田欣⁴

(1.河北钢铁集团沙河中关铁矿有限公司,河北邢台市 054100;2.河北省复杂铁矿低碳智能高效开采技术创新中心,河北邢台市 054100;

3.东北大学资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110819;

4.河北钢铁集团矿业有限公司, 河北 唐山市 063100)

摘要:巷道围岩变形是影响其稳定性的重要因素之一。针对 中关铁矿有轨运输巷道底鼓变形难题,采用激光扫描仪获取 巷道变形后的目标点云数据并进行降噪处理,为克服巷道变 形前,云数据缺失问题,利用 NURBS 曲面建模技术构建 变形前的源点云数据,并利用 griddle 网格工具进行加密;在 此基础上,采用基于点到面(P2P)距离和 K 近邻算法,对巷 道变形量进行计算和分析。结果表明,85.8%的区域底鼓变 形值在 30 cm 以上,且呈现出明显的非均匀现象;根据巷道 底鼓变形规律并结合现场实际,提出了"反底拱+锚网喷+ 短锚索"的组合支护修护方案,并对修复后的围岩稳定性进 行分析,工程实践表明,巷道的变形趋势得到了有效控制,顶 底板总移近量为 52 mm,巷道两帮最大变形量约为 39 mm, 未再出现明显的底鼓现象。

关键词:有轨运输巷道;变形监测;三维激光扫描;底鼓变形; 底鼓控制

中图分类号:TD325 文献标识码:A 文章编号:1005-2763(2024)04-0107-07

0 引言

井下开采等地下活动引起巷道围岩应力重分 布,进而导致巷道围岩发生收敛变形,其变形量的大 小与地应力、岩性等多种因素有关。围岩变形是围 岩应力状态变化最直接的反映,围岩变形监测能够 及时准确地获取岩体的力学响应;同时,围岩变形量 的获取是检验和优化支护设计、判断巷道支护效果、 指导施工和巷道失稳灾害预警的前提^[1-2]。

传统的巷道位移监测方式^[3](如断面收敛仪、卷 尺、全站仪等)往往需要提前布设站点,存在费时费 力等缺点,对于复杂地质条件的巷道变形监测还存 在一定的风险性。三维激光扫描技术作为一项革命 性的测绘技术,被广泛应用于金属矿山领域[4-6]。谢 雄耀等[7]采用地面三维激光扫描技术测量隧道全断 面变形,通过几何分析方法对关键的扫描参数进行 优化,并将其应用于上海西藏路电力隧道以及上海 长江西路越江隧道等工程。姚顽强等[8]等提出将机 载 LiDAR 点云直接比较的算法(Cloud to Cloud, C2C)进行矿山开采沉陷监测,以榆神矿区某工作面 为研究区,获取了矿山开采沉陷变形规律。M₃C₂ 算法(The multiscale model to model cloud comparison)^[9-10]是一种先进的点云数据处理算法, 其计算过程为建立以某点为圆心,d为半径范围内 的投影圆柱,分别计算该圆柱体内两点云数据的平 均投影中心,投影中心的距离即为两点云间的距离。 江权等[11]利用该算法对金川镍矿巷道围岩变形演 化规律进行了分析,并根据巷道变形值来预警巷道 的失稳性。

然而,对于大多数地下金属矿山而言,巷道底鼓 大变形监测分析及控制技术仍是困扰矿山安全生产 的主要难题之一。本文以中关铁矿-245 m 有轨运 输水平 3[#] 穿脉巷道底鼓变形监测为例,采用激光扫 描仪获取巷道变形后的目标点云数据,利用 NURBS(Non-Uniform Rational B-Splines)曲面建 模技术对变形前的源点云数据进行构建,克服巷道 大变形监测困难等难题;并基于点到面(P2P)距离 和 K 近邻算法,对巷道底鼓变形规律进行分析,提 出了底鼓变形修复方案,以期为类似有轨运输巷道

基金项目:河北省重点研发计划项目(20374103D).

作者简介:王社光(1986—),男,河南濮阳人,高级工程师,主要从事矿山生产技术工作,E-mail:406752459@qq.com。 通信作者:于兴社(1985—),男,河北保定人,高级工程师,主要从事采矿技术工作,E-mail:mwssbwzb2011@126.com。

^{*} **收稿日期:**2024-01-20

底鼓变形控制提供借鉴。

1 基于激光扫描的巷道变形监测技术

1.1 点云数据获取

三维激光扫描技术可以快速、大量地采集空间 点位信息,能够快速建立物体的三维影像模型,具有 快速、不接触、高精度等特性。巷道变形后的点云数 据为目标点云,采用型号为 ZebRevo 的三维激光扫 描仪(见图 1)获取目标点云数据,该扫描仪可用于 GPS 信号难以覆盖的狭小作业空间,其测量最大距 离为 30 m,测量范围为 270°×360°,扫描速率为 43 200 点/s,探头的激光等级为1级,对人体无害。



巷道变形前的点云为源点云,巷道成型时未意 识到变形问题,因此缺乏源点云数据。根据现场巷 道设计尺寸,利用 NURBS 曲面建模技术^[12]对源点 云数据进行构建。有理多项式函数基于一张 *k*×*l* 次 NURBS 曲面如下:

$$P(u,w) = \frac{\sum_{i=0}^{n} \sum_{j=0}^{m} B_{i,k}(u) B_{j,l}(w) \omega_{i,j} \mu_{i,j}}{\sum_{i=0}^{n} \sum_{j=0}^{m} B_{i,k}(u) B_{j,l}(w) w_{i,j}}$$
(1)
$$\begin{cases} \boldsymbol{U} = [u_{0}, u_{1}, \cdots, u_{m+1}] \\ \boldsymbol{W} = [w_{0}, w_{1}, \cdots, w_{n+1}] \end{cases}$$
(2)

式中, $\mu_{i,j}$ 为控制网络; $\omega_{i,j}$ 为权因子; $B_{i,k}(\mu)$ 为u方向k次 B 样条基函数; $B_{j,l}(\omega)$ 为在w方向l次 B 样条 基函数;**U** 为 u 方向节点矢量;**W** 为 w 方向节点矢量。

为提高变形计算的精度,采用 griddle 网格建模 工具对点云曲面模型进行加密,通过设置网格边长 完成源点云数据的加密。

1.2 点云数据降噪

由于仪器和现场测试环境的影响,三维激光扫 描技术获取的点云数据中往往包含许多噪音点。因 此,需要对点云数据中的噪音点进行滤波处理,真实 还原现场测试环境,提高巷道变形重构的精度。点云 数据中的噪声点主要可以分为3类(见图2):一是往 返测试中产生的重复点;二是远离巷道结构主体的 离群点;三是巷道帮壁及巷道中的附属设施,如矿 车、支架、电线等噪声点。为去除以上3类噪声点, 采用了改进体素滤波器、统计滤波器和裁剪滤波器 组合的方法^[13-14]。改进体素滤波器用原始点云数据 中距离体素重心点最近的点代替体素中心点用以去 除点云数据中的重复点。统计滤波器根据点云数据 的邻域统计特征将噪声点去除。针对大尺度噪声点, 利用裁剪滤波器,剔除点云数据中的噪声点。



Fig.2 Noise points during scanning

1.3 巷道变形分析算法

巷道变形前后的点云数据获取后,为更精确高 效地计算巷道变形前后的位移量,提出一种基于点 面距离的巷道变形检测算法(见图 3)。该算法首先 通过 K 近邻搜索法寻找目标点云中距离源点云中 某点最近的 4 个点,再利用最小二乘法将目标点云 中寻找到的 4 个点拟合为平面,最后通过计算点到 拟合平面的距离得到巷道的变形量,并生成巷道三 维变形云图。





通过离散点拟合平面,也就是寻找距离各个离 散点最近的一个平面(z = ax + by + c)。根据最小 二乘法的原理,各个离散点距离平面的距离 S 为:

$$S = \sum (ax_i + by_i + c - z_i)^2 \qquad (3)$$

式中, x_i 、 y_i 、 z_i 为i点的空间坐标位置;a、b、c为相关系数。

也就是需要寻找一组 *a*,*b*,*c* 的值,使其 *S* 值最小,即:

$$\begin{cases} a \sum x_i^2 + b \sum y_i x_i + c \sum x_i = \sum z_i x_i \\ a \sum x_i y_i + b \sum y_i^2 + c \sum y_i = \sum z_i y_i \\ a \sum x_i + b \sum y_i + cn = \sum z_i \end{cases}$$
(4)

式中,n为离散点的个数。

求解该矩阵方程即可得到要求的*a*,*b*,*c*的值。 将方程两边同时乘以系数矩阵的逆矩阵。通过最小 二乘法求的拟合平面后,根据平面外一点到平面的 距离计算公式可以求得各点的距离*d*。

$$d = \frac{|Ax_{i} + By_{i} - Cz_{i} + D|}{\sqrt{A^{2} + B^{2} + C^{2}}}$$
(5)

式中,A、B、C、D为相关系数。

利用点面距离的巷道变形检测算法求得巷道的 变形值后,通过 vtkPointInterpolator 算法将变形值 进行显示。vtkPointInterpolator 算法是用点集 *P* (算法过滤器 output)表示点云 *P*c(源数据),即点集 *P*中的数据是通过 *P*c 插值而来。点集 *P* 通过映射 的方式将数据显示在巷道模型表面,其插值算法采 用泰森多边形内核算法^[15]。

2 有轨运输巷道底鼓变形监测分析

2.1 工程概况

中关铁矿位于河北省沙河市刘石岗镇,属砂卡 岩型矿床,矿体主要赋存于砂卡岩接触带上,水文地 质条件较差,对矿床的开采具有一定的威胁。根据 矿体特征及赋存条件,采用分段空场嗣后充填采矿 法,首采中段为-230 m 水平,-245 m 水平为矿石 有轨运输中段。-245 m 水平有轨运输巷均处在矿 岩、砂卡岩接触带,岩石局部破碎严重。

以-245 m 水平有轨运输巷 3[#] 穿脉运输巷道 为例展开研究。3[#] 有轨运输穿脉巷道设计断面为 三心拱型,设计尺寸为 3.3 m×3.6 m。巷道两帮和 顶部均为锚网喷支护,选用左旋螺纹钢树脂锚杆,直 径为 20 mm,长度为 2400 mm,间排距为 800 mm× 800 mm。目前,3[#] 有轨运输穿脉巷道局部出现底 鼓现象,严重影响矿山生产运输作业。

2.2 构建有轨运输巷道三维模型

点云数据的精度和准确度决定了变形计算的准确性。根据现场开拓巷道的设计方案,利用 NURBS曲面建模技术构建3[#]有轨运输穿脉巷道 源点云数据,为提高变形计算的精确性,利用 griddle 网格建模工具对点云曲面模型进行加密处 理。通过点云的加密处理,从而使源点云数据均匀 密集,且点云处理的误差降低。采用 ZebRevo 型三 维激光扫描仪对 3[#] 有轨运输穿脉巷道进行现场检 测并获取目标点云,将现场采集的目标点云通过改 进体素滤波器、统计滤波器和裁剪滤波器组合的方 法进行点云数据的降噪。该方法可以很好地完成三 维激光扫描仪采集点云数据的降噪处理,处理后的 目标点云巷道表面光滑,不存在噪音点。

为计算巷道变形前后的位移量,将源点云与目标点云进行坐标变换,转移到同一坐标系下,得到目标点云与源点云的配准模型,如图4所示。经过数据去噪后,重建了3[#]有轨运输穿脉巷道的三维表面模型,如图5所示。从图5可以看出,3[#]穿脉巷道发生了明显的不均匀变形。



图 4 坐标变换后的点云数据 Fig.4 Point cloud data after coordinate transformation



图 5 3[#] 穿脉巷道三维重构模型



2.3 有轨运输巷道底鼓变形规律分析

利用基于点到面(P2P)距离和 K 近邻法的巷 道变形检测算法,得到 3*有轨运输穿脉巷道变形云 图,如图 6 所示。受一230 m 水平采动影响,3*穿脉 巷道出现了明显的大变形收缩现象,且围岩变形呈 现明显的非均匀性和非对称性。巷道两帮出现明显 的鼓出现象,最大变形达 1.03 m,位于巷道的左帮 拱角位置;巷道顶板围岩变形相比其他位置偏小,但 局部变形量仍达到 20 cm 以上;巷道底鼓现象非常 严重,底部变形大多在 20 cm 以上,局部变形达 40 cm 以上,底板变形呈明显的非均匀性,严重影响了 有轨机车的正常运输作业。



图 6 3[#] 穿脉巷道变形云图 Fig.6 Roadway deformation cloud map of 3[#] cross-vein roadway

为了更直观地分析 3[#] 穿脉巷道的底鼓变形现 象,将底鼓变形区按照变形量进行分析统计,如图 7 所示。从图 7 可以看出,3[#] 穿脉巷道 90.4%的区域 底鼓变形值在 20 cm 以上,并且 3[#] 穿脉巷道 85.8% 的区域底鼓变形值在 30~50 cm 之间,甚至有 3.1% 的区域底鼓变形超过 50 cm,与现场实际发生的底 鼓变形现状基本一致,验证了该底鼓变形监测分析 方法的合理性,也说明 3[#] 穿脉巷道整体底鼓现象非 常严重,亟需开展治理工作。



3 有轨运输巷道底鼓控制技术

3.1 底鼓控制修复技术

3*有轨运输穿脉巷是主要的溜井卸矿水平,负 责运输矿石,无法完全停运进行支护修复。为了最 大程度地减少施工工期,同时避免在修复过程中发 生大规模的垮塌。通过对巷道变形原因和机理进行 深入分析,结合实际工程情况,参照相似案例^[16],提 出了"反底拱+锚网喷+短锚索"联合支护的修复方 案。具体包括:对底鼓严重的巷道进行卧底处理,清 理至硬底,并增加反底拱浇筑结构以提高底板的稳 定性;对变形严重的巷道采用锚网喷支护进行短修 短支处理,防止破碎带巷道围岩长期受地压影响,内 部变形剧烈,造成片帮或冒落;采用短锚索支护,提 供主动支护以减少围岩松动圈的变形,提高岩体的 自稳能力,并缓解锚网喷支护的受力。并重新修复 浇筑水沟,对水沟对侧巷道边角进行浇筑,改变巷道 受力及积水侵蚀砂卡岩的现状。

"反底拱+锚网喷+短锚索"联合支护方案具体 参数如图 8 所示。首先,拆除轨道及轨枕,以腰线为 基准向下清理 1.5 m 至硬底,加设预埋弧形工字钢。 道床基础采用 C30 钢筋+混凝土+预埋件浇筑,混 凝土与钢筋、预埋件的保护层厚度为 50 mm,绑扎 钢筋采用 Φ18 mm 双层钢筋,横筋间排距为 200 mm× 200 mm;竖筋间排距为 200 mm×200 mm。轨道 间距为 900 mm,轨枕间距为 575 mm,轨枕规格为 1700 mm×200 mm×150 mm,轨枕埋入道床深度 为 90 mm。枕轨应与轨道固定牢靠, 目垂直于轨 道,靠上帮的一头平齐。道床须垫平、捣实,严禁出 现轨枕悬空,轨道要铺设平整、牢固,目用混凝土密 实。最后,采用"短修短支"的方式进行巷道支护,将 变形的巷道扩刷至巷道设计规格,再进行支护。树 脂锚杆采用尺寸为 Φ22 mm×2400 mm 的左旋螺 纹钢树脂锚杆全断面支护,间排距为800 mm×800 mm,网片采用1m×2m 预制钢筋网,喷浆厚度为 100 mm。树脂锚索采用尺寸为 Φ17.8 mm×5000 mm 的钢绞线,顶板均匀布置3根,孔距为2.1m,排 距为 3.0 m,锚索托盘尺寸选用 150 mm×150 mm, 孔径为28mm,锚固长度为1.5m,锚杆与树脂锚索 沿巷道走向间隔使用。





3.2 现场修复效果评价

根据前述修复支护方案,对 3* 有轨运输穿脉巷道 进行了有效的修复支护。在返修过程中,通过卧底处 理重点关注底鼓严重的巷道,实施了短修短支,采用了 锚网喷方式处理变形严重的巷道,最终完成了安装预 应力短锚索的修复工作,修复前后效果对比见图 9。

在修复完成后,通过十字布点法对巷道移进量 进行了监测,并在测站断面的顶板和右侧帮的中部 设置了激光测距仪测点。经过 30 d 的变形监测,结 果显示修复后的巷道整体稳定性得到了明显加强, 巷道顶底板总移进量仅为 52 mm(见图 10),并且变 形趋于平稳,变形速率不再增加,底鼓现象未再出 现。两帮收敛监测结果表明,在观测期间,巷道最大 收敛变形量约为 39 mm。这些数据表明反底拱+ 锚网喷+预应力短锚索的修护方案有效地控制了 3*有轨运输穿脉巷道的变形失稳。





Fig.9 Comparison before and after the repair of the floor heave in 3[#] railway transportation vein-crossing roadway



Fig.10 Monitoring of roadway moving amount

4 结论

(1) 为克服巷道大变形监测困难等难题,采用 激光扫描仪获取巷道变形后的目标点云数据,利用 NURBS 曲面建模技术对变形前的源点云数据进行 构建,并利用 griddle 网格工具对点云曲面模型进行 加密;在此基础上,采用基于点到面(P2P)距离和 K 近邻算法,对巷道变形量进行计算和分析,进一步提 高了巷道变形监测的准确性。

(2)以中关铁矿-245 m水平 3*穿脉巷道为 例进行变形监测分析,获得巷道变形云图,发现 3* 穿脉巷道发生了较大的收缩现象,最大变形量达 1.03 m;底鼓现象非常明显,且呈明显的非均匀性, 90.4%的区域底鼓变形值在 20 cm 以上,85.8%的 区域底鼓变形值在 30~50 cm 之间,甚至有 3.1%的 区域底鼓变形达到了 50 cm 以上。该结果与现场实 际发生的底鼓变形现状基本一致,验证了该底鼓变 形监测分析方法的合理性。

(3)针对 3[#] 穿脉巷道的底鼓现象,提出了"反 底拱+锚网喷+短锚索"的组合支护修复方案,并开 展了现场应用实践。工程实践表明,巷道的变形趋 势得到了有效控制,巷道顶底板总移近量为 52 mm,两帮最大变形量约为 39 mm,未再出现明显的 底鼓现象。

参考文献(References):

- [1] 于庆磊,蒲江涌,勒治华,等.基于地质雷达的矽卡岩型铜铁 矿巷道松动圈研究[J].金属矿山,2021(3):46-53.
 YU Qinglei, PU Jiangyong, LE Zhihua, et al. Study on the broken rock zone of roadway in skarn copper-iron mine based on geological radar [J]. Metal Mine,2021(3):46-53.
- [2] 蒲江涌.砂卡岩型软岩巷道变形破坏特征与锚杆支护参数优 化研究[D].沈阳:东北大学,2021.

PU Jiangyong. Deformation failure characteristics and bolt support parameter optimization of skarn type soft rock roadway [D]. Shenyang:Northeastern University,2021.

- [3] 张欣,涂敏,张向阳,等.沿空巷道切顶卸压煤柱宽度与巷道 底鼓变形关系研究[J].矿业研究与开发,2023,43(7):60-66. ZHANG Xin, TU Min, ZHANG Xiangyang, et al. Study on the relationship between the coal pillar width and the deformation of roadway floor heave under roof cutting and pressure relief in gob-side roadway[J]. Mining Research and Development,2023,43(7):60-66.
- [4] 杜磊,王祥阜,刘国建,等.基于三维激光扫描的巷道采动变形监测方法研究[J].现代矿业,2023,39(6):86-90.
 DU Lei, WANG Xiangfu, LIU Guojian, et al. Research on the monitoring method of roadway deformation during mining based on 3D laser scanning technology[J]. Modern Mining,2023,39(6):86-90.

[5] 吴爱,康志忠.隧道断面截取曲面拟合优化的点云简化方法 [J].测绘科学,2015,40(9):92-97.

WU Ai, KANG Zhizhong. A method of point cloud simplification for curved surface fitting optimization of tunnel profile interception [J]. Science of Surveying and Mapping,2015,40(9):92-97.

- [6] 杜祎玮,任富强,常来山.三维激光扫描技术在国内矿山领域的应用[J].矿业研究与开发,2021,41(12):154-160.
 DU Yiwei, REN Fuqiang, CHANG Laishan. Application of 3D laser scanning technology in domestic mine field[J].
 Mining Research and Development,2021,41(12):154-160.
- [7] 谢雄耀,卢晓智,田海洋,等.基于地面三维激光扫描技术的 隧道全断面变形测量方法[J].测绘通报,2016(2):143-144.
 XIE Xiongyao, LU Xiaozhi, TIAN Haiyang, et al. Fullsection deformation measurement of tunnel based on groundbased 3D laser scanning technology[J]. Survey and Mapping Bulletin,2016(2):143-144.
- [8] 姚顽强,高康洲,郑俊良,等.基于机载 LiDAR 点云 C2C 算法的矿山沉陷监测研究[J].煤炭工程,2023,55(4):162-167.
 YAO Wanqiang, GAO Kangzhou, ZHENG Junliang, et al. C2C algorithms based on airborne LiDAR dot clouds in the monitoring of mines[J]. Coal Engineering, 2023, 55(4): 162-167.
- [9] LAGUE Dimitri, BRODU Nicolas, LEROUX Jérôme. Accurate 3D comparison of complex topography with terrestrial laser scanner: application to the rangitikei canyon (N-Z) [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2013(82):10-26.
- [10] YANG Yihui, SCHWIEGER Volker. Patch-based M3C2: Towards lower-uncertainty and higher-resolution deformation analysis of 3D point clouds [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2023,125:103535.

- [11] JIANG Quan, SHI Yingen, YAN Fei, et al. Reconstitution method for tunnel spatiotemporal deformation based on 3D laser scanning technology and corresponding instability warning [J]. Engineering Failure Analysis, 2021, 125:105391.
- [12] 朱险峰,孙颖莹.非均匀有理 B 样条曲线在工业建模中的优势[J].浙江工程学院学报,2003(4):20-22.
 ZHU Xianfeng, SUN Yingying. Advantages of NURBS in industrial modeling [J]. Journal of Zhejiang Institute of Science and Technology,2003(4):20-22.
- [13] 熊艳,高仁强,徐战亚.机载 LiDAR 点云数据降维与分类的随机森林方法[J].测绘学报,2018,47(4):508-518.
 XIONG Yan, GAO Renqiang, XU Zhanya. Random forest method for dimension reduction and point cloud classification based on airborne LiDAR [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica,2018,47(4):508-518.
- [14] 鲁冬冬,邹进贵.三维激光点云的降噪算法对比研究[J].测绘通报,2019(增刊2):102-105.
 LU Dongdong, ZOU Jinggui. Comparative research on denoising algorithms of 3D laser point cloud[J]. Survey and Mapping Bulletin,2019(S2):102-105.
- [15] 赵坡.地质体三维建模空间插值与可视化算法研究及实现
 [D].成都:成都理工大学,2013.
 ZHAO Po. Three-dimensional geological modeling and visualization of spatial interpolation algorithm and its implementation [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology,2013.
 [16] 杨浦 些勤 动压叠加效应下去道底鼓机理与控制技术研究
- [16] 杨博,柴敬.动压叠加效应下巷道底鼓机理与控制技术研究
 [J].矿业研究与开发,2022,42(11):96-101.
 YANG Bo, CHAI Jing. Floor heave mechanism and control technology of roadway under dynamic pressure superposition effect[J]. Mining Research and Development,2022,42(11): 96-101.

Monitoring Analysis and Control Technology of Floor Heave Deformation in Railway Transportation Roadway of Zhongguang Iron Mine

WANG Sheguang^{1,2}, YU Qinglei³, YU Xingshe^{1,2}, PU Jiangyong³, YANG Zhiqiang^{1,2}, YIN Xin⁴

(1.Shahe Zhongguan Iron Mine Co., Ltd., Hebei Iron and Steel Group, Xingtai, Hebei 054100, China;

2. Hebei Complex Iron Ore Low Carbon Intelligent and Efficient

Mining Technology Innovation Center, Xingtai, Hebei 054100, China;

3. School of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang, Liaoning 110819, China;

4. Hebei Iron and Steel Group Mining Co., Ltd., Tangshan, Hebei 063100, China)

Abstract: Deformation of the roadway surrounding rocks is one of the crucial factors affecting their stability. In response to the problem of floor heave deformation in railway transportation roadway of Zhongguan Iron Mine, a laser scanner was used to obtain the target point cloud data after roadway deformation and perform noise reduction processing. To overcome the problem of missing source point cloud data before roadway deformation, NURBS surface modeling technology was used to construct the source point cloud data before deformation, and griddle grid tool was used for encryption. On this basis, the deformation of the roadway was calculated and analyzed using the point-to-point (P2P) distance and *K*-nearest neighbor algorithm. The results show that 85.8% of the deformation values of the floor heave in the area are above 30 cm and exhibit obvious non-uniformity. Based on the deformation law of the roadway floor heave and combined with on-site practice, a combined support and repair

plan of reverse bottom arch + anchor mesh spray + short anchor cable was proposed, and the stability of the repaired surrounding rock was analyzed. Engineering practice shows that the deformation trend of the roadway has been effectively controlled, with a total displacement of 52 mm for the roof and floor, and a maximum deformation of about 39 mm for both sides of the roadway. There is no obvious floor heave phenomenon again.

Key words: Rail transportation roadway, Deformation monitoring, Three-dimensional laser scanning, Floor heave deformation, Floor heave control