



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 109900208 B

(45) 授权公告日 2021.03.05

(21) 申请号 201910240847.X

李杰明 苏媛 宁兴萍 范晓辉
李明

(22) 申请日 2019.03.28

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109900208 A

(74) 专利代理机构 上海恒慧知识产权代理事务
所(特殊普通合伙) 31317

(43) 申请公布日 2019.06.18

代理人 徐红银 赵楠

(73) 专利权人 中铁十六局集团北京轨道交通工
程建设有限公司

(51) Int.Cl.
G01B 11/00 (2006.01)

地址 101100 北京市通州区于家务回族乡
聚富苑民族产业发展基地聚和六街2
号

审查员 刘云

专利权人 中铁十六局集团有限公司

(72) 发明人 马栋 刘志峰 张楠 沈水龙
齐书峰 王祥 张力学 吴明付
张大鹏 罗太祥 史超 刘耀华
高策 冯旭东 朱玉粮 薛俊

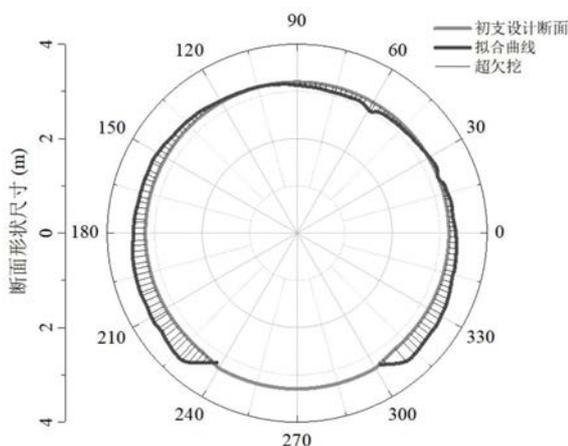
权利要求书3页 说明书8页 附图2页

(54) 发明名称

一种矿山法隧道开挖与初支质量检测方法

(57) 摘要

本发明提出一种矿山法隧道开挖与初支质量检测方法,包括:第一步、确定最佳精度点和激光扫描仪激光束最大入射角;第二步、确定所述激光扫描仪测站间距和所需测站总数;第三步、获取隧道初支表面点云数据,所述点云数据是指以隧道监测基准点所在坐标系下的隧道初次支护表面点的三维坐标;第四步、根据施工现场隧道断面检测要求,确定需要检测的隧道断面里程;第五步、将提取的所述三维点坐标投影到待检测的隧道断面上;第六步、确定拟合所用的型值点,拟合构造出曲线,所述曲线是隧道断面开挖得到的实际边界;第七步、确定隧道断面超欠挖量及超欠挖位置。本发明实现矿山法隧道初支质量自动化、高精度、连续检测。



1. 一种矿山法隧道开挖与初支质量检测方法,其特征在于:包括:

第一步、确定最佳精度点和激光扫描仪激光束最大入射角;

在待检测隧道拱腰上沿隧道轴线水平方向设置若干个标靶纸,确定其中一个所述标靶纸为所述最佳精度点;

所述最大入射角是指激光扫描仪激光束发射点和所述最佳精度点的连线与所述激光扫描仪激光束发射点所在隧道横截面的夹角;

第二步、确定所述激光扫描仪测站间距和所需测站总数;

所述测站间距是指沿隧道轴线方向任意相邻两次激光扫描测量站点之间的距离;

所述测站总数是指检测隧道初支质量所需的激光扫描次数;

第三步、获取隧道初支表面点云数据;

所述点云数据是指以隧道监测基准点所在坐标系下的隧道初次支护表面点的三维坐标;

在每个所述测站进行激光扫描作业,获取所有所述测站的所述点云数据,然后进行所述点云数据拼接,得到完整的隧道初支表面点云数据;

第四步、根据施工现场隧道断面检测要求,确定需要检测的隧道断面里程、所述里程处隧道断面与隧道监测基准点坐标系x轴的夹角、以及所述里程处隧道断面中心点坐标,然后提取所述里程处隧道断面的三维点坐标;

第五步、将提取的所述三维点坐标投影到待检测的隧道断面上;

所述三维点坐标投影是指将所述第四步中隧道监测基准点坐标系下的三维点坐标转换到待测的隧道断面局部坐标系下;

第六步、确定投影点坐标拟合所用的型值点,拟合构造出光滑曲线 $y=f(x)$,所述光滑曲线 $f(x)$ 是隧道断面开挖得到的实际边界;

第七步、确定隧道断面超欠挖量及超欠挖位置;

以所述第四步中待检测里程处隧道断面中心点坐标为圆心,画出所述第六步中得到的拟合曲线与隧道初支设计开挖边界,即可比较超欠挖位置和超欠挖量。

2. 根据权利要求1所述的一种矿山法隧道开挖与初支质量检测方法,其特征在于:第一步中,所述确定最佳精度点包括:

在待检测隧道拱腰上沿隧道轴线水平方向等间隔设置若干个标靶纸,依次测量各个相邻所述标靶纸之间的距离,将测量距离与实际距离作比较,当在所述标靶纸的测量距离与实际距离之差超过设定值时,为扫描精度不达标,此时,所述标靶纸的中心点即为最佳精度点。

3. 根据权利要求2所述的一种矿山法隧道开挖与初支质量检测方法,其特征在于:所述确定最佳精度点,具体为:

S1: 在待检测隧道拱腰上沿隧道轴线水平方向粘贴所述标靶纸,以激光扫描仪为中心由近及远编号,相邻所述标靶纸之间间隔一距离;

S2: 利用激光扫描仪进行测距作业,在隧道中心轴线上设置所述激光扫描仪,依次测量各个相邻所述标靶纸之间的距离;

S3: 将测量距离与实际距离作比较,当两者之差超过所述设定值时,即认为扫描精度不达标,此时,最大编号标靶纸的中心点即为所述最佳精度点。

4. 根据权利要求1所述的一种矿山法隧道开挖与初支质量检测方法,其特征在于:确定所述最佳精度点后,通过全站仪测量所述最大入射角。

5. 根据权利要求1所述的一种矿山法隧道开挖与初支质量检测方法,其特征在于:第二步中,所述测站间距满足以下公式:

$$S=D \times \tan \theta$$

式中, S 为测站间距, m ; D 为隧道初支设计断面直径, m ; θ 为激光扫描仪的最大入射角;所述测站总数满足以下公式:

$$N = \frac{L}{S}$$

式中, N 为测站总数, L 为待检测隧道总长, m ; S 为测站间距, m 。

6. 根据权利要求1所述的一种矿山法隧道开挖与初支质量检测方法,其特征在于:第四步中,所述提取所述里程处隧道断面的三维点坐标,其中提取宽度满足以下公式:

$$W = \rho \frac{\pi DL}{n} \times 10^6$$

式中, W 为提取宽度, mm ; n 为三维激光扫描得到的三维坐标点总数; D 为隧道初支设计断面直径, m ; L 为隧道长度, m ; ρ 为数据点线密度, mm^{-1} ,取2-3。

7. 根据权利要求1所述的一种矿山法隧道开挖与初支质量检测方法,其特征在于:第四步中,被提取的所述里程处隧道断面的三维点坐标,满足以下公式:

$$|(x_i - x_0) \sin \alpha - (y_i - y_0) \cos \alpha| \leq W \quad i=1, 2, 3, \dots, n$$

式中, (x_i, y_i, z_i) 为隧道监测基准点坐标系下的点坐标; (x_0, y_0, z_0) 为隧道监测基准点坐标系下待检测隧道断面中心点坐标; n 为三维激光扫描得到的三维坐标点总数; α 为待检测隧道断面与隧道监测基准点坐标系 x 轴的夹角,以逆时针转向为正; W 为提取宽度。

8. 根据权利要求1所述的一种矿山法隧道开挖与初支质量检测方法,其特征在于:所述第五步中待测隧道断面局部坐标系下投影点的坐标满足以下公式:

$$y'_j = (x_j - x_0) \cos \alpha + (y_j - y_0) \sin \alpha + y_0$$

$$z'_j = z_i \quad j=1, 2, 3, \dots, k$$

式中, (x_j, y_j, z_j) 为第四步中满足提取宽度要求的三维坐标点; (y'_j, z'_j) 为待测隧道断面局部坐标系下的点坐标; (x_i, y_i, z_i) 为隧道监测基准点坐标系下的点坐标; (x_0, y_0, z_0) 为隧道监测基准点坐标系下待检测隧道断面中心点坐标; k 为第四步中满足提取宽度要求的三维坐标点个数; α 为待检测隧道断面与隧道监测基准点坐标系 x 轴的夹角,以逆时针转向为正。

9. 根据权利要求1所述的一种矿山法隧道开挖与初支质量检测方法,其特征在于:第六步中所述型值点,确定方法包括:

(1) 根据工程实际情况确定待检测的隧道断面范围;

(2) 将待检测的隧道断面范围内的隧道断面按照 β 角度沿环向等分为 m 个扇形区域;

(3) 以其中一个扇形区域的中线为基准,在该扇形域内正中心 $\frac{\beta}{2}$ 角度区域内随机选择一个投影点作为该扇形区域内用于拟合的型值点,其他扇形区域内的型值点确定方法相同,即可确定 m 个用于插值拟合的型值点。

10. 根据权利要求1-9任一项所述的一种矿山法隧道开挖与初支质量检测方法,其特征
在于:根据实际工程情况,重复第四步到第六步,即可检测不同隧道里程处的初支质量情
况。

一种矿山法隧道开挖与初支质量检测方法

技术领域

[0001] 本发明属于隧道检测领域,具体地,涉及一种矿山法隧道开挖与初支质量检测方法。

背景技术

[0002] 近年来,随着轨道交通的快速发展,工程建设的规模的数量呈现不断上升的趋势。根据国家交通运输部的统计,2017年全国铁路营业里程已达12.7万公里。铁路建设中由于线路规划、施工技术和施工成本等因素的影响,需要建设大量隧道以满足工程需求。矿山法是修建隧道最常用的方法之一,该方法主要通过爆破方式使开挖面围岩松动,然后按照顺序分部开挖岩体,并对已开挖部分的岩体进行支护,以保证开挖部分岩体的稳定和施工安全。由于隧道穿越地层往往岩性复杂、类型多变,以及人为操作等原因,爆破效果往往达不到设计要求。同时,由于隧道开挖造成原始地应力平衡被打破,隧道围岩发生收敛变形,多种因素造成开挖后的实际断面与设计开挖断面往往存在偏差,即发生超欠挖现象。欠挖导致二次衬砌厚度不足,易造成坍塌和沉降的加大,同时再次超挖增加了对岩体的扰动。超挖造成出渣量增大,延长出渣作业时间,同时导致混凝土回填量加大,增加工程成本。可见,超欠挖对矿山法隧道断面开挖质量、施工进度和安全以及工程成本存在重大影响。因此,有必要在隧道开挖初次支护后对开挖断面进行质量检测,并与设计断面尺寸进行对比,从而发现超欠挖、隧道断面变形等问题并及时弥补。

[0003] 经对现有技术文献的检索发现,中国专利申请号为CN201620030051,公开号为CN205577997U,专利名称为:一种隧道超欠挖检测控制装置,该专利公开了:“一种隧道超欠挖检测控制装置,其包括:行走系统,通过全站仪定位“平行双拼角钢”进行所述装置定位,装置底设置胶轮人工推行行走;骨架系统,由工字钢和钢管组成稳定的三角支撑体系;伸缩系统,由七根伸缩丝杆组成,调节台车高度,以适应不同的围岩断面;刚性轮廓系统,采用钢筋焊接成骨架,与隧道开挖及初支待检测段断面轮廓一致。”该专利所述的超欠挖检测装置主要是通过伸缩丝杆预先确定隧道开挖初支设计断面轮廓,然后人工推动台车通过检测段,若台车能顺利通过即表明无欠挖,然后通过丝杆伸出的长度反映超挖量的大小。然而,在实际隧道断面质量检测过程中,往往需要对断面进行自动、连续检测。此方法主要依靠人工推动台车进行测量,由于台车轨道铺设存在高差等原因,台车行进过程中伸缩丝杆难以时刻准确保持设计初支开挖轮廓。同时,此方法超挖量主要依靠人工通过肉眼观测丝杆伸出长度得到,准确性难以保证,当断面某点超挖量过大时,可能导致丝杆长度不足而无法测量。

[0004] 综上所述,现有的测量装置的现场操作繁琐复杂,难以控制,准确性难以保证,大量人为因素的存在导致检测作业可靠性差,费时费力,效率低下。

发明内容

[0005] 针对现有技术中的缺陷,本发明的目的是提供一种基于三维激光扫描技术的矿山

法隧道开挖与初支质量检测方法,该方法克服了现有技术中存在的检测精度差,效率低,无法连续检测的缺点和不足,实现矿山法隧道初支质量自动化、高精度、连续检测。

[0006] 为实现上述目的,本发明提出一种矿山法隧道开挖与初支质量检测方法,包括:

[0007] 第一步、确定最佳精度点和激光扫描仪激光束最大入射角;

[0008] 在待检测隧道拱腰上沿隧道轴线水平方向设置若干个标靶纸,确定其中一个所述标靶纸为所述最佳精度点;

[0009] 所述最大入射角是指激光扫描仪激光束发射点和所述最佳精度点的连线与所述激光扫描仪激光束发射点所在隧道横截面的夹角;

[0010] 第二步、确定所述激光扫描仪测站间距和所需测站总数;

[0011] 所述测站间距是指沿隧道轴线方向任意相邻两次激光扫描测量站点之间的距离;

[0012] 所述测站总数是指检测隧道初支质量所需的激光扫描次数;

[0013] 第三步、获取隧道初支表面点云数据;

[0014] 所述点云数据是指以隧道监测基准点所在坐标系下的隧道初次支护表面点的三维坐标;

[0015] 在每个所述测站进行激光扫描作业,获取所有所述测站的所述点云数据,然后进行所述点云数据拼接,得到完整的隧道初支表面点云数据;优选地,采用Cyclone配套后处理软件进行点云数据拼接,得到完整的隧道初支表面点云数据。

[0016] 第四步、根据施工现场隧道断面检测要求,确定需要检测的隧道断面里程、所述里程处隧道断面与隧道监测基准点坐标系x轴的夹角、以及所述里程处隧道断面中心点坐标,然后提取所述里程处隧道断面的三维点坐标;

[0017] 第五步、将提取的所述三维点坐标投影到待检测的隧道断面上;

[0018] 所述三维点坐标投影是指将所述第四步中隧道监测基准点坐标系下的三维点坐标转换到待测的隧道断面局部坐标系下;

[0019] 第六步、确定投影点坐标拟合所用的型值点,拟合构造出光滑曲线 $y=f(x)$,所述光滑曲线 $f(x)$ 是隧道断面开挖得到的实际边界;优选地,采用三次插值样条拟合构造出曲线 $y=f(x)$,由插值拟合法确定的光滑曲线 $f(x)$ 就是隧道断面开挖得到的实际边界。

[0020] 第七步、确定隧道断面超欠挖量及超欠挖位置;

[0021] 以所述第四步中待检测里程处隧道断面中心点坐标为圆心,画出所述第六步中得到的拟合曲线与隧道初支设计开挖边界,即可比较超欠挖位置和超欠挖量。

[0022] 优选地,第一步中所述最佳精度点确定方法包括:

[0023] 在待检测隧道拱腰上沿隧道轴线水平方向等间隔设置若干个标靶纸,依次测量各个相邻所述标靶纸之间的距离,将测量距离与实际距离作比较,当在所述标靶纸的测量距离与实际距离之差超过设定值时,为扫描精度不达标,此时,所述标靶纸的中心点即为最佳精度点。

[0024] 优选地,所述第一步中:所述最佳精度点确定按照以下步骤执行:

[0025] S1:在待检测隧道拱腰上沿隧道轴线水平方向粘贴所述标靶纸,以激光扫描仪为中心由近及远编号,相邻所述标靶纸之间间隔一距离;

[0026] 更加优选地,所述标靶纸之间间隔距离为2m;

[0027] S2:利用激光扫描仪进行测距作业,在隧道中心轴线上设置所述激光扫描仪,依次

测量各个相邻所述标靶纸之间的距离;更优选地,采用激光扫描仪获取标靶纸表面点云数据,然后导入到Cyclone后处理软件中,利用软件中的选择工具依次选择相邻两标靶纸中心点,得到各个相邻标靶纸的测量距离。

[0028] S3:将测量距离与实际距离作比较,当两者之差超过所述设定值时,即认为扫描精度不达标,此时,最大编号标靶纸的中心点即为所述最佳精度点。更加优选地,所述设定值为10mm。

[0029] 优选地,确定所述最佳精度点后,通过全站仪测量最大入射角。确定最佳精度点后,利用全站仪测量最大入射角:首先选择全站仪的角度测量模式,并对准激光扫描仪所在隧道断面水平直径方向,然后锁死水平微动,将水平角置零,最后打开水平微动,旋转照准最佳精度点,屏幕上显示的角度即为最大入射角。

[0030] 优选地,所述第二步中所述测站间距满足以下公式:

$$[0031] \quad S = D \times \tan \theta$$

[0032] 式中,S为测站间距,m;D为隧道初支设计断面直径,m; θ 为激光扫描仪的最大入射角;

[0033] 所述测站总数满足以下公式:

$$[0034] \quad N = \frac{L}{S}$$

[0035] 式中,N为测站总数,L为待检测隧道总长,m;S为测站间距,m。

[0036] 优选地,第四步中,所述提取所述里程处隧道断面的三维点坐标,其中提取宽度满足以下公式:

$$[0037] \quad W = \rho \frac{\pi DL}{n} \times 10^6$$

[0038] 式中,W为提取宽度,mm;n为三维激光扫描得到的三维坐标点总数;D为隧道初支设计断面直径,m;L为隧道长度,m; ρ 为数据点线密度, mm^{-1} ,取2-3。

[0039] 优选地,第四步中,被提取的所述里程处隧道断面的三维点坐标,满足以下公式:

$$[0040] \quad |(x_i - x_0) \sin \alpha - (y_i - y_0) \cos \alpha| \leq W \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

[0041] 式中, (x_i, y_i, z_i) 为隧道监测基准点坐标系下的点坐标; (x_0, y_0, z_0) 为隧道监测基准点坐标系下待检测隧道断面中心点坐标;n为三维激光扫描得到的三维坐标点总数; α 为待检测隧道断面与隧道监测基准点坐标系x轴的夹角,以逆时针转向为正。

[0042] 优选地,所述第五步中待测隧道断面局部坐标系下投影点的坐标满足以下公式:

$$[0043] \quad y'_j = (x_j - x_0) \cos \alpha + (y_j - y_0) \sin \alpha + y_0$$

$$[0044] \quad z'_j = z_i \quad j = 1, 2, 3, \dots, k$$

[0045] 式中, (x_j, y_j, z_j) 为第四步中满足提取宽度要求的三维坐标点; (y'_j, z'_j) 为待测隧道断面局部坐标系下的点坐标; (x_i, y_i, z_i) 为隧道监测基准点坐标系下的点坐标; (x_0, y_0, z_0) 为隧道监测基准点坐标系下待检测隧道断面中心点坐标;k为第四步中满足提取宽度要求的三维坐标点个数; α 为待检测隧道断面与隧道监测基准点坐标系x轴的夹角,以逆时针转向为正。

[0046] 优选地,所述第六步中所述型值点的确定方法包括以下步骤:

[0047] (1) 根据工程实际情况确定待检测的隧道断面范围;

[0048] (2) 将待检测的隧道断面范围内的隧道断面按照 β 角度沿环向等分为 m 个扇形区域, β 角一般取 $2-5^\circ$;

[0049] (3) 以其中一个扇形区域为基准,在该扇形域内正中心 $\frac{\beta}{2}$ 角度区域内随机选择一个投影点作为该扇形区域内用于拟合的型值点,其他扇形区域内的型值点确定方法相同,理论上即可确定 m 个用于插值拟合的型值点。由于局部范围内激光扫描数据点稀疏,实际得到的型值点数量可能会少于 m 个。

[0050] 优选地,根据实际工程情况,重复第四步到第六步,即可检测不同隧道里程处的初支质量情况。

[0051] 与现有技术相比,本发明具有如下的有益效果:

[0052] 本发明基于三维激光扫描技术检测矿山法隧道开挖与初支质量,弥补了现有技术中存在的检测精度差,效率低,无法连续检测的缺点和不足,实现矿山法隧道开挖与初支质量自动化、高精度、连续检测,具有很大的应用价值。

附图说明

[0053] 通过阅读参照以下附图对非限制性实施例所作的详细描述,本发明的其它特征、目的和优点将会变得更明显:

[0054] 图1为本发明一优选实施例激光扫描仪最大入射角确定方法示意图;

[0055] 图2为本发明一优选实施例隧道监测基准点坐标系下隧道轴线与检测断面示意图;

[0056] 图3为本发明一优选实施例隧道断面投影点筛选方法示意图;

[0057] 图4为本发明一优选实施例隧道断面超欠挖检测结果图。

具体实施方式

[0058] 下面结合具体实施例对本发明进行详细说明。以下实施例将有助于本领域的技术人员进一步理解本发明,但不以任何形式限制本发明。应当指出的是,对本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变形和改进。这些都属于本发明的保护范围。

[0059] 本实施例提供了一种矿山法隧道开挖与初支质量检测方法,该方法基于三维激光扫描技术,在隧道开挖初次支护后对开挖断面进行质量检测,用三次插值样条拟合得到一条光滑曲线即为隧道断面实际开挖边界,并与设计断面尺寸进行对比,确定隧道断面超欠挖量及超欠挖位置。

[0060] 在一地铁隧道施工过程中,地铁隧道为圆形结构,采用矿山法施工ZDK19+100~ZDK19+270里程范围,隧道开挖初次支护采用格栅钢架结合喷射混凝土,隧道全长170m,初支设计断面直径6.4m。

[0061] 本方法在施工过程中具体施工步骤如下:

[0062] 步骤一、确定最佳精度点和激光扫描仪激光束最大入射角;

[0063] 在待检测隧道拱腰上沿隧道轴线水平方向设置若干个标靶纸,确定其中一个标靶纸为最佳精度点;最大入射角是指激光扫描仪激光束发射点和最佳精度点的连线与激光扫

描仪激光束发射点所在隧道横截面的夹角；

[0064] 最佳精度点确定方法包括：在待检测隧道拱腰上沿隧道轴线水平方向等间隔设置若干个标靶纸，依次测量各个相邻标靶纸之间的距离，将测量距离与实际距离作比较，当在标靶纸的测量距离与实际距离之差超过设定值时，为扫描精度不达标，此时，标靶纸的中心点即为最佳精度点。

[0065] 如图1所示，进行现场测距作业，将激光扫描仪架设在隧道中心轴线上，在隧道拱腰上沿隧道轴线方向以间隔距离为2m粘贴标靶纸，并以扫描仪为中心由近及远将标靶纸依次编号（1号标靶纸...11号标靶纸）。对标靶纸进行激光扫描获取标靶纸表面点云数据，然后将扫描得到的点云数据导入到Cyclone后处理软件中，利用软件的选择工具依次选择相邻两标靶纸标靶中心点，得到相邻标靶纸的测量距离分别为2.005m, 2.004m, 2.005m, 2.006m, 2.008m, 2.005m, 2.009m, 2.008m, 2.009m, 2.025m, 2.020m，因为 $2.025-2=25\text{mm}>10\text{mm}$ ，故可确定10号标靶纸的中心点为最佳精度点。

[0066] 然后利用全站仪测量最大入射角，首先选择全站仪的角度测量模式，并对准激光扫描仪所在隧道断面水平直径方向，然后锁死水平微动，并将水平角置零，最后打开水平微动，旋转照准最佳精度点，屏幕上显示的最大入射角度为 79.92° 。

[0067] 在具体实施过程中，最佳精度点确定按照以下步骤执行：

[0068] S1：在待检测隧道拱腰上沿隧道轴线水平方向粘贴标靶纸，以激光扫描仪为中心由近及远编号，相邻标靶纸之间间隔一距离；更加优选地，相邻标靶纸之间间隔距离为2m；

[0069] S2：利用激光扫描仪进行测距作业，在隧道中心轴线上设置激光扫描仪，依次测量各个相邻标靶纸之间的距离；更优选地，采用激光扫描仪获取标靶纸表面点云数据，然后导入到Cyclone后处理软件中，利用软件中的选择工具依次选择相邻两标靶纸中心点，得到各个相邻标靶纸的测量距离。

[0070] S3：将测量距离与实际距离作比较，当两者之差超过设定值时，即认为扫描精度不达标，此时，最大编号标靶纸的中心点即为最佳精度点。更加优选地，设定值为10mm。

[0071] 步骤二、确定激光扫描仪测站间距和所需测站总数。测站间距是指沿隧道轴线方向任意相邻两次激光扫描测量站点之间的距离；测站总数是指检测隧道初支质量所需的激光扫描次数；测站间距满足以下公式：

$$[0072] \quad S = D \times \tan \theta$$

[0073] 式中，S为测站间距，m；D为隧道初支设计断面直径，m； θ 为激光扫描仪的最大入射角；

[0074] 所述测站总数满足以下公式：

$$[0075] \quad N = \frac{L}{S}$$

[0076] 式中，N为测站总数，L为待检测隧道总长，m；S为测站间距，m。

[0077] 本实施例中，激光扫描仪测站间距为： $S = D \times \tan \theta = 6.4 \times \tan 79.92^\circ = 36\text{m}$ 。则得

到测站间距为36m，测站总数为： $N = \frac{L}{S} = \frac{170}{36} = 4.72$ ，取5个。

[0078] 步骤三、获取隧道初支表面点云数据。

[0079] 点云数据是指以隧道监测基准点所在坐标系下的隧道初次支护表面点的三维坐

标;在每个测站进行激光扫描作业,获取所有测站的点云数据,然后采用Cyclone配套后处理软件中进行点云数据拼接,得到完整的隧道初支表面点云数据。

[0080] 本实施例中,在每个测站对隧道进行激光扫描作业,获取5个测站的点云数据。然后在Cyclone配套后处理软件中进行点云数据拼接,共得到完整的待测隧道初支表面点三维坐标数据约1.5亿个。

[0081] 步骤四、根据施工现场隧道断面检测要求,确定需要检测的隧道断面里程、里程处隧道断面与隧道监测基准点坐标系x轴的夹角、以及里程处隧道断面中心点坐标,然后按照设定的提取宽度,将该里程处隧道断面的点坐标提取出来。

[0082] 在部分优选实施例中,提取里程处隧道断面的三维点坐标,其中提取宽度满足以下公式:

$$[0083] \quad W = \rho \frac{\pi DL}{n} \times 10^6$$

[0084] 式中,W为提取宽度,mm;n为三维激光扫描得到的三维坐标点总数;D为隧道初支设计断面直径,m;L为隧道长度,m; ρ 为数据点线密度, mm^{-1} ,取2-3。

[0085] 在部分优选实施例中,被提取的所述里程处隧道断面的三维点坐标,满足以下公式:

$$[0086] \quad |(x_i - x_0) \sin \alpha - (y_i - y_0) \cos \alpha| \leq W \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

[0087] 式中, (x_i, y_i, z_i) 为隧道监测基准点坐标系下的点坐标; (x_0, y_0, z_0) 为隧道监测基准点坐标系下待检测隧道断面中心点坐标;n为三维激光扫描得到的三维坐标点总数; α 为待检测隧道断面与隧道监测基准点坐标系x轴的夹角,以逆时针转向为正。

[0088] 本实施例中,从矿山法隧道起始里程开始,每隔10m取一个隧道断面,共检测18个断面的超欠挖情况,其里程分别为:ZDK20+100,ZDK20+110,ZDK20+120,ZDK20+130,ZDK20+140,ZDK20+150,ZDK20+160,ZDK20+170,ZDK20+180,ZDK20+190,ZDK20+200,ZDK20+210,ZDK20+220,ZDK20+230,ZDK20+240,ZDK20+250,ZDK20+260,ZDK20+270。

[0089] 本实施例中,数据点线密度取 2mm^{-1} ,提取宽度如图2所示,计算方法为:

$$[0090] \quad W = \rho \frac{\pi DL}{Q} \times 10^6 = 2 \times \frac{\pi \times 6.4 \times 170}{1.5 \times 10^8} \times 10^6 \approx 45\text{mm}$$

[0091] 现以隧道里程ZDK20+230处断面为例具体说明点坐标的提取方法。如图2所示,该隧道断面中心点坐标为 $(x_0, y_0, z_0) = (18512.002, 31602.765, 78.010)$,该里程处检测断面与隧道监测基准点坐标系x轴的夹角为 74.02° 。激光扫描得到的三维点坐标中,以点坐标 (x_1, y_1, z_1) 和 (x_2, y_2, z_2) 为例, $(x_1, y_1, z_1) = (118512.0282, 31602.423, 81.172)$, $(x_2, y_2, z_2) = (118512.0279, 31602.3875, 81.166)$,则判断点 x_1, x_2 是否满足提取宽度要求的方法如下:

$$[0092] \quad |(x_1 - x_0) \sin \alpha - (y_1 - y_0) \cos \alpha| = |(118512.0282 - 18512.002) \times \sin 74.02^\circ - (31602.423 - 31602.765) \times \cos 74.02^\circ| = 0.040 < 0.045$$

$$[0093] \quad |(x_2 - x_0) \sin \alpha - (y_2 - y_0) \cos \alpha| = |(118512.0279 - 18512.002) \times \sin 74.02^\circ - (31602.3875 - 31602.765) \times \cos 74.02^\circ| = 0.047 > 0.045$$

[0094] 因此,点坐标 (x_1, y_1, z_1) 符合要求,点坐标 (x_2, y_2, z_2) 不符合要求。故将点坐标 (x_1, y_1, z_1) 提取出来,其他点坐标判断方式同理。最后将ZDK20+230处断面符合宽度要求的坐标

点全部提取出来,共19962个。

[0095] 步骤五、将提取宽度内的点坐标投影到待检测隧道断面上。三维点坐标投影是指将步骤四步中隧道监测基准点坐标系下的三维点坐标转换到待测的隧道断面局部坐标系下;

[0096] 待测隧道断面局部坐标系下投影点的坐标满足以下公式:

$$[0097] \quad y'_j = (x_j - x_0) \cos\alpha + (y_j - y_0) \sin\alpha + y_0$$

$$[0098] \quad z'_j = z_i \quad j=1,2,3,\dots,k$$

[0099] 式中, (x_j, y_j, z_j) 为第四步中满足提取宽度要求的三维坐标点; (y'_j, z'_j) 为待测隧道断面局部坐标系下的点坐标; (x_i, y_i, z_i) 为隧道监测基准点坐标系下的点坐标; (x_0, y_0, z_0) 为隧道监测基准点坐标系下待检测隧道断面中心点坐标; k 为第四步中满足提取宽度要求的三维坐标点个数; α 为待检测隧道断面与隧道监测基准点坐标系 x 轴的夹角, 以逆时针转向为正。

[0100] 本实施例中, 仍以隧道里程 ZDK20+230 处, 断面点坐标 (x_1, y_1, z_1) 为例说明投影方法, $(x_1, y_1, z_1) = (118512.0282, 31602.423, 81.172)$, 则投影后隧道断面局部坐标系下的点坐标计算方法如下:

$$[0101] \quad y'_1 = (x_1 - x_0) \cos\alpha + (y_1 - y_0) \sin\alpha + y_0 = (18512.0282 - 18512.002) \times \sin 74.02^\circ + (31602.423 - 31602.765) \times \cos 74.02^\circ + 31602.765 = 31602.696$$

$$[0102] \quad z'_1 = z_1 = 81.172$$

[0103] 则可以得到隧道里程 ZDK20+230 处断面坐标点 (x_1, y_1, z_1) 的投影坐标 $(y'_1, z'_1) = (31602.696, 81.172)$, 该处断面提取宽度内的其它点坐标的投影计算方法同理。

[0104] 步骤六、根据工程实际情况确定投影点坐标拟合所用的型值点, 用三次插值样条拟合构造出曲线 $y = f(x)$ 。由插值拟合法确定的光滑曲线 $f(x)$ 就是隧道断面开挖得到的实际边界。

[0105] 型值点的确定方法包括以下步骤:

[0106] (1) 根据工程实际情况确定待检测的隧道断面范围;

[0107] (2) 将待检测的隧道断面范围内的隧道断面按照 β 角度沿环向等分为 m 个扇形区域;

[0108] (3) 以其中一个扇形区域为例, 在该扇形域内正中心 $\frac{\beta}{2}$ 角度区域内随机选择一个

投影点作为该扇形区域内用于拟合的型值点, 其他扇形区域内的型值点确定方法相同, 理论上即可确定 m 个用于插值拟合的型值点。由于局部范围内激光扫描数据点稀疏, 实际得到的型值点数量可能会少于 m 个。

[0109] 本实例中, 受台车轨道等因素影响, 隧道断面圆心角为 60 度范围内的投影点信息缺失, 故将拟合范围选择为圆心角为 300 度的区域。如图 3 所示, 将隧道断面沿环向按照 4 度等分为 75 个扇形区域, 然后在其中一个扇形区域正中心 2 度区域内选取一个投影点作为该扇形区域内用于拟合的型值点, 其他扇形区域内的型值点确定方法相同。由于局部范围内激光扫描数据点稀疏, 最后得到 73 个用于插值拟合的型值点。将得到的共 73 个投影点坐标用三次插值样条拟合得到一条光滑曲线即为隧道断面实际开挖边界。

[0110] 步骤七、确定隧道断面超欠挖量及超欠挖位置。

[0111] 本实例中,隧道初支设计断面直径6.4m。如图4所示,以步骤四中隧道里程ZDK20+230处断面中心点坐标 $(y_0, z_0) = (31602.765, 78.010)$ 为圆心,画出步骤六中得到的拟合曲线与隧道初支设计开挖边界(半径为3.2m的圆),即可清晰比较超欠挖位置和超欠挖量。

[0112] 根据实际工程情况,重复步骤四至步骤六,可以得到其它里程处隧道断面的初支质量情况。

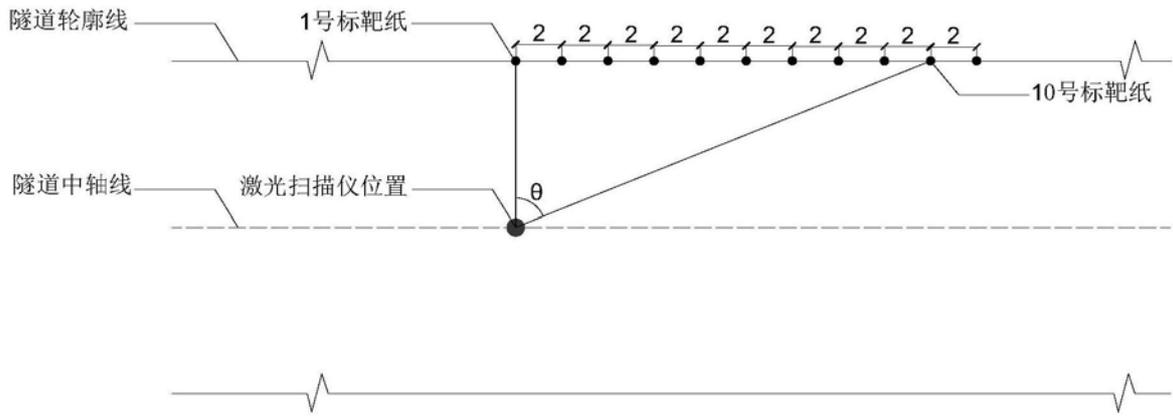


图1

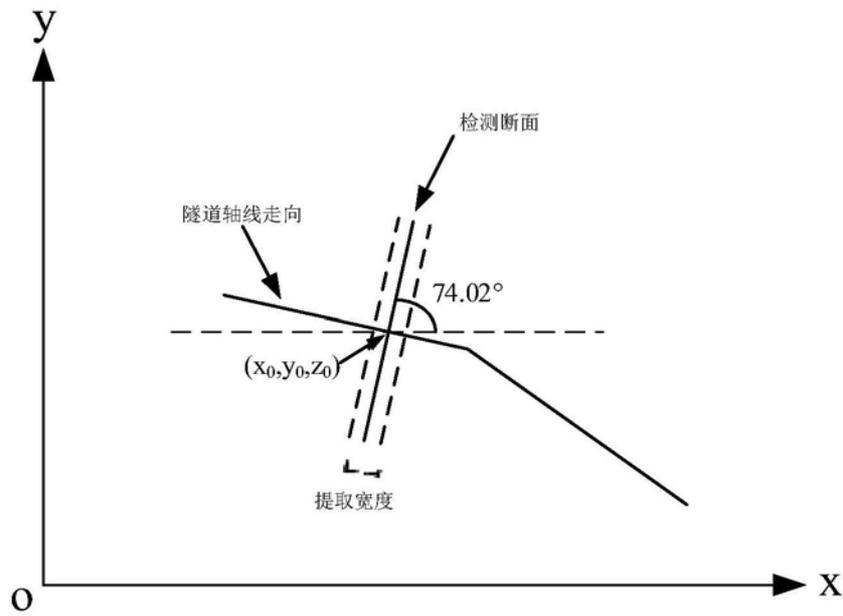


图2

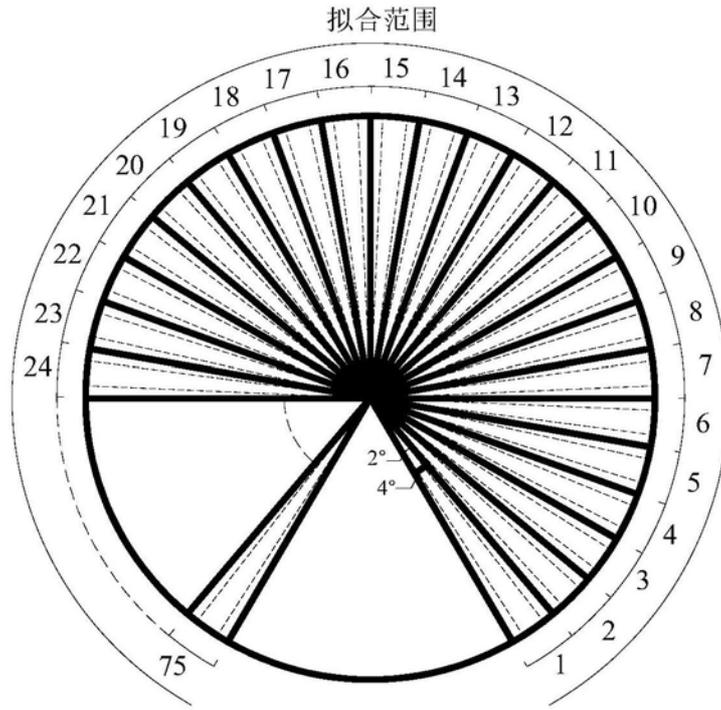


图3

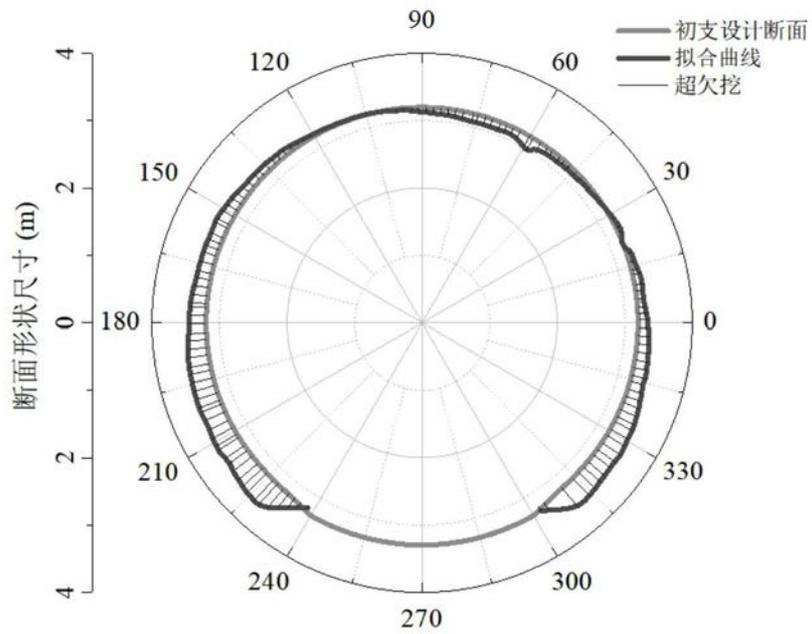


图4