

地铁区间盾构隧道建筑限界核查新方法^{*}

狄仕磊

(轨道交通工程信息化国家重点实验室(中铁一院), 710043, 西安//工程师)

摘要 目的:地铁区间盾构隧道建筑限界核查工作,存在需人工识别线路曲线类型、限界计算结果准确率低、核查效率低、工作量大等问题。为此,需研究新的地铁区间盾构隧道建筑限界核查方法。方法:在地铁区间盾构隧道断面建立基准坐标系,在隧道内壁选择测点,读取测点处测量数据信息;利用盾构圆形隧道内壁轮廓几何关系计算顶部和底部的测点处高程理论值及左右两侧测点处的横距理论值,并利用内插法计算缓和曲线段偏移量;利用高程理论值、横距理论值及偏移量来计算每个测点的建筑限界;将计算出的建筑限界和测量数据相比较,进而判断该隧道断面是否有测点侵界。介绍了基于该建筑限界核查方法开发的地铁区间盾构隧道建筑限界核查软件,并用实际工程数据进行测试。结果及结论:工程数据测试结果表明,建筑限界核查软件能快速准确地读取限界测量数据、计算缓和曲线偏移量、计算建筑限界设计值、进行限界核查、自动生成核查结果及输出核查报告等,有效地提高了限界核查的准确率及核查效率,使核查时间缩短80%以上。

关键词 地铁;盾构隧道;建筑限界核查

中图分类号 U452.2⁺⁶

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.08.049

New Method of Architectural Clearance Verification for Metro Interval Shield Tunnel

DI Shilei

Abstract Objective: The current verification work of metro interval shield tunnel architectural clearance has problems such as manual identification of track curve types, low accuracy of clearance calculation results, low verification efficiency and heavy workload. Therefore, a new method of architectural clearance verification for metro interval shield tunnel needs to be studied. Method: A reference coordinate system is established for metro shield interval tunnel cross-section, and measurement data at selected points on tunnel inner wall are collected. Using the geometric relationship of shield circular tunnel inner wall profile, the theoretical values of elevation at the top and bottom measuring points, as well as the theoretical values

of horizontal distance at the left and right measuring points, are calculated. And transition curve offsets are calculated using interpolation method. The architectural clearance for each measuring point is calculated based on the theoretical elevation values, horizontal distance values, and offsets. The calculated architectural clearances are compared with the field-measured data to determine if any encroachments exist in the tunnel cross-section. Based on a software tool for metro interval shield tunnel architectural clearance verification developed by this method, tests are carried out using actual engineering data. Result & Conclusion: The engineering data test results demonstrate that the architectural clearance verification software can quickly and accurately read clearance measurement data, calculate transition curve offsets, compute design values for architectural clearances, perform clearance verification, generate verification results automatically, and delivery verification reports. This method significantly improves the accuracy and efficiency of clearance verification, reducing over 80% of verification time.

Key words metro; shield tunnel; construction clearance verification

Author's address State Key Laboratory of Rail Transit Engineering Information (FSDI), 710043, Xi'an, China

0 引言

地铁限界是保障地铁安全运行、限制车辆断面尺寸、限制沿线设备安装尺寸及确定建筑结构有效净空尺寸的图形、坐标参数及轮廓尺寸线^[1]。地铁的建筑限界位于设备限界外,且考虑了设备安装的最小有效界线。任何沿线建筑物均不得侵入建筑限界^[1-2]。若盾构施工偏差过大,则须对线路进行调线调坡处理,从而增大设备及管线安装难度。为了给后续设备和管线的安装预留合适的安装空间,也为了满足设备限界和建筑限界的设计要求,防止发生侵界,保证行车安全,在隧道施工完毕后需要

^{*} 中铁第一勘察设计院集团有限公司软件开发项目课题(院软20-15)

到终点(即缓圆点,偏移量为 Δ_Y),按计算点至缓和曲线起点的长度与缓和曲线长度的比例线性递变偏移。

2 建筑限界自动核查方法

测量数据包含各断面测点的里程信息、测点高程、横距值,以及圆曲线段的偏移量及曲线要素信息。由于不同类型线路对应的建筑限界计算方法不同,故本文提出先识别线路类型,再对建筑限界自动核查的新方法(以下简称“建筑限界核查新方法”)。首先,根据测量数据来识别线路类型(直线段、圆曲线段或缓和曲线段);然后,读取圆曲线段的偏移量,并采用内插法计算缓和曲线段中心偏移量;之后,根据偏移量及横距值计算每个测点处的建筑限界设计值;最后,将建筑限界设计值同由测点高程及横距算得的建筑限界测量值相比较,进而判断该隧道实际断面是否侵界。

2.1 计算断面偏移量

在识别线路类型时,要根据曲线要素点有顺序地读取测量数据中的线路特征信息。曲线要素点的读取顺序为:直线段、直缓点、缓和曲线段、缓圆点、圆曲线段、圆缓点、缓和曲线段、缓直点、直线段。根据线路特征信息,不仅能自动准确识别线路类型,还能获得每段线路里程值,并分别存入各线段对应数组中。这样无需人工识别曲线类型。

按照曲线段测点建筑限界定义,圆曲线段偏移量为固定值,直线段偏移量为0。根据曲线要素点的分布规则,缓和曲线段偏移量按缓和曲线段位置分为两类,分别位于圆曲线段的相邻两侧。按照线性差值法分别计算其左、右侧偏移量为:

$$\Delta_{ZH-HY}(i) = \frac{\Delta_Y(D_{ZH-HY}(i) - D_{ZH})}{D_{HY} - D_{ZH}} \quad (7)$$

$$\Delta_{YH-HZ}(i) = \frac{\Delta_Y(D_{YH-HZ}(i) - D_{HZ})}{D_{YH} - D_{HZ}} \quad (8)$$

式中:

$\Delta_{ZH-HY}(i)$ ——圆曲线段左侧直缓点至缓圆点第*i*个断面处的偏移量;

$\Delta_{YH-HZ}(i)$ ——圆曲线段右侧圆缓点至缓直点第*i*个断面处的偏移量;

$D_{ZH-HY}(i)$ ——圆曲线段左侧直缓点至缓圆点第*i*个断面处的里程;

$D_{YH-HZ}(i)$ ——圆曲线段右侧圆缓点至缓直点第*i*个断面处的里程;

D_{ZH} ——直缓点的里程;

D_{HY} ——缓圆点的里程;

D_{YH} ——圆缓点的里程;

D_{HZ} ——缓直点的里程。

由式(7)及式(8)可知,每个断面处的偏移量和断面里程是相对应的。这种计算方法解决了传统线性渐变法偏移量无法对应断面里程的问题,提高了计算结果的准确性。

2.2 侵界判定标准

若已知某断面处测点 $P(\tau)$ 的断面偏移量为 Δ ,横距值为 $L_{P(\tau)}$,建筑限界设计值为 $D_{P(\tau)}$,则测点建筑限界设计值为:

$$D_{P(\tau)} = L_{P(\tau)} \pm \Delta, \tau = 1, 2, \dots, 8 \quad (9)$$

根据建筑限界的定义,侵界判定标准方法为:若测点 $P(\tau)$ 的建筑限界测量值 $M_{P(\tau)}$ 小于建筑限界设计值,则该测点侵界。用 $S_{P(\tau)}$ 表示测点 $P(\tau)$ 的侵界程度,则有:

$$S_{P(\tau)} = M_{P(\tau)} - D_{P(\tau)} \quad (10)$$

若 $S_{P(\tau)} \geq 0$,则测点 $P(\tau)$ 满足设计要求;若 $S_{P(\tau)} < 0$,则测点 $P(\tau)$ 侵界, $S_{P(\tau)}$ 绝对值越大,则该测点侵界程度越高。

利用建筑限界核查新方法,可核查地铁盾构隧道断面内壁测点处是否侵界,以及侵界程度。

3 盾构隧道建筑限界核查软件

本研究基于建筑限界自动核查方法,利用 Visual C#.NET 平台开发出地铁区间盾构隧道建筑限界核查软件 V1.0(以下简称“核查软件”),该软件能实现测量数据读取、建筑限界设计值计算、限界核查、自动生成核查结果及输出核查报告等,能有效提高盾构隧道建筑限界核查的准确率及效率。

3.1 核查软件的算法流程

核查软件采用模块化设计,主要分为测量数据读取及参数输入、设计建筑限界计算、限界核查及核查报告生成四大模块。该软件利用 WinForm 窗体应用程序编程,完成不同控件代码编写后将控件整合成软件设计界面。通过操作参数输入界面及限界核查界面,即可完成建筑限界核查。

核查软件的算法流程图如图2所示。

3.2 核查软件的工程应用

本文以西安地铁14号线工程学府路站至辛王路站区间右线测量数据为例,利用核查软件来完成限界核查检测。核查软件的使用步骤如下:

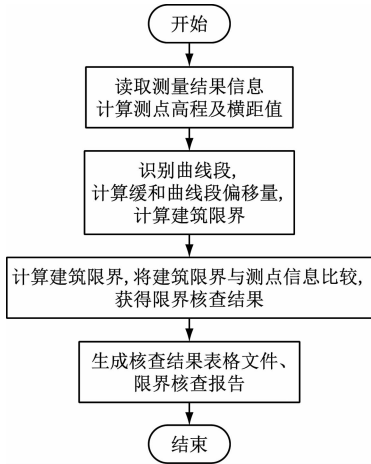


图2 检查软件的算法流程图

Fig. 2 Flow chart of checking software algorithm

1) 数据载入: 点击参数输入按钮, 选择对应区间限界测量数据 Excel 文件后, 检查软件即自动载入并显示源数据存储路径、计算结果保存路径、项目名称、区间名称、里程范围及测点示意图等信息, 并创建对应工程项目文件夹。

2) 参数输入: 输入该盾构区间的建筑限界直径、轨道结构高度及测点高度信息。参数输入界面如图3所示。

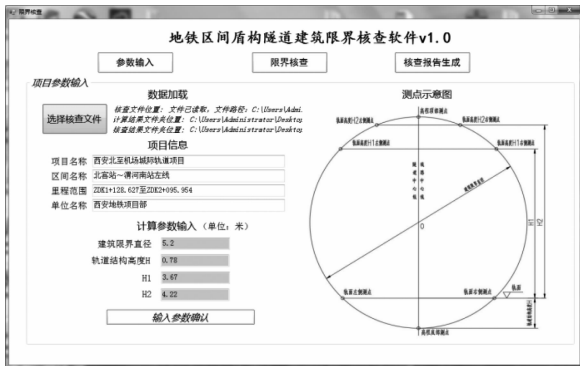


图3 参数输入界面截图

Fig. 3 Screenshot of parameter input interface

3) 限界计算及核查: 对该区间内所有断面测点进行建筑限界计算及限界核查, 且核查进度和结果显示在“限界核查”界面上。点击“查看计算结果”“查看核查结果”及“详细数据”等按钮, 即可查看相应的计算结果及核查结果 Excel 文件, 并在“文件预览”窗口显示。限界核查界面如图4所示。

4) 生成核查报告: 完成限界计算及核查后, 点击“核查报告生成”按钮, 软件将自动读取核查结果数据, 生成限界核查报告 Word 文件并保存至指定文件夹, 限界核查完成。



图4 限界核查界面截图

Fig. 4 Screenshot of clearance checking interface

限界核查结果显示, 该检查软件有效地提高了限界核查的准确率及核查效率, 其核查结果正确, 且核查时间缩短 80% 以上。

4 结语

本文提出的地铁区间盾构隧道建筑限界核查方法, 基于测量数据, 利用曲线标识、曲线要素点的分布规则来识别曲线类型, 利用线性内插法及曲线里程信息快速、准确地计算缓和曲线每个断面处的偏移量, 从而精确计算限界设计值, 提高了限界核查的准确率。

基于该方法开发的检查软件, 能够快速得到侵界结果并自动生成 Word 格式限界核查报告、Excel 格式侵界数据, 大幅降低了核查时间, 解决了传统手动编写报告耗时长、易出错、工作量大等缺点, 显著提高了设计人员效率。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地铁设计规范: GB 50157—2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014. Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Code for design of metro: GB 50157—2013 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 地铁限界标准: CJJ/T 96—2018[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018. Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Standard of metro gauges: CJJ/T 96—2018 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2018.
- [3] 杨亢亢, 刘羽劼, 薛喆, 等. 地铁隧道施工偏差限界检测软件开发与应用[J]. 城市轨道交通研究, 2015, 18(5): 77. YANG Kangkang, LIU Yujie, XUE Zhe, et al. Development and application of deviation gauge detection software in metro tunnel construction[J]. Urban Mass Transit, 2015, 18(5): 77.

(下转第 262 页)

2.5 实际应用的注意事项

碳纤维复合材料在实际应用中还有注意事项:

1) 碳纤维复合材料在力学性能方面表现出明显的各向异性^[4],其铺层层间许用应力较低。因此,在进行部件设计时,必须以部件受力情况为输入,制定合理的铺层方案。

2) 碳纤维复合材料与预埋的金属件热膨胀系数不一致。因此,预埋金属件的尺寸不能太大。

3) 碳纤维复合材料质量稳定性较金属材料差,故需辅以超声波探伤,并加大安全系数。

4) 碳纤维复合材料导电性比金属差。为满足车辆的接地需求,车体需预埋金属以建立接地回路。

3 结语

针对 100% 低地板轻轨车轻量化设计,本文提出使用碳纤维和铝合金材料混合车体替代原全焊接铝合金车体,确定了车体各部位碳纤维部件的材料及规格,碳纤维牌号选择 T300。经计算,采用采用碳纤维复合材料部件后,车体质量比全焊接铝合金车体质量减轻 15% 以上,减重效果明显。对车体进行静强度仿真计算,并基于 Tsai-Wu 强度准则计算面内应力强度因子。仿真计算结果表明,碳纤维和铝合金混合材料车体满足强度要求。说明采用碳纤维和铝合金材料混合车体兼顾了轻量化设计

要求和强度要求。

参考文献

- [1] 刘晓波,杨颖.轻量化高性能碳纤维复合材料车体研发关键技术[J].合成纤维,2013,42(10):29.
LIU Xiaobo, YANG Ying. Key technologies of lightweight and high-performance carbon fiber composite train carbody[J]. Synthetic Fiber in China, 2013, 42(10): 29.
- [2] 周海鹏,武舒然,张小龙,等.碳纤维复合材料在轨道车辆车体上的应用概述[J].科技创新与应用,2022,12(11):182.
ZHOU Haipeng, WU Shuran, ZHANG Xiaolong, et al. Overview of application of carbon fiber composite materials in rail vehicle body[J]. Technology Innovation and Application, 2022, 12(11): 182.
- [3] 张相宁,李明高,刘宇,等.100%低地板有轨电车车体设计[J].中国铁路,2014(6):111.
ZHANG Xiangning, LI Minggao, LIU Yu, et al. Design of 100% low floor tram body[J]. Chinese Railways, 2014(6): 111.
- [4] 蔡晓江,邱坤贤,王呈栋,等.航空高强度碳纤维单向层合结构复合材料在切削过程中的各向异性行为研究[J].南京航空航天大学学报,2014,46(5):684.
CAI Xiaojiang, QIU Kunxian, WANG Chengdong, et al. Study on anisotropic behaviors in cutting of aviation high-strength CFRP materials with unidirectional laminate structure[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2014, 46(5): 684.

(收稿日期:2021-03-04)

(上接第 256 页)

- [4] 骆礼伦,叶芹禄.城市轨道交通限界设计软件的开发与应用[J].城市轨道交通研究,2013,16(8):148.
LUO Lilun, YE Qinlu. Development and application of design software for urban rail transit gauges[J]. Urban Mass Transit, 2013, 16(8): 148.
- [5] 杨铭.城市轨道交通隧道施工偏差限界确认软件开发[J].现代城市轨道交通,2014(2):59.
YANG Ming. Software development for tunnel deviation limit confirmation in transit construction[J]. Modern Urban Transit, 2014(2): 59.
- [6] 黄铂清.地铁限界 CAD 及调线调坡设计系统研究与开发[D].长沙:中南大学,2011.
HUANG Boqing. Research and development of subway clearance CAD and alignment and slope adjustment design system[D]. Changsha: Central South University, 2011.
- [7] 杨宇,张济民,耿跃.有轨电车动态限界计算软件设计与实

现[J].计算机应用与软件,2017,34(12):138.

- YANG Yu, ZHANG Jimin, GENG Yue. Design and implementation of dynamic gauge calculation software for trams[J]. Computer Applications and Software, 2017, 34(12): 138.
- [8] 谭磊,刘继尧,尹鹏涛,等.全站仪测量地铁盾构隧道建筑限界及椭圆度方法研究[J].城市轨道交通研究,2017,20(12):87.
TAN Lei, LIU Jiyao, YIN Pengtao, et al. Construction clearance and ovality of the total station measured shield tunnel[J]. Urban Mass Transit, 2017, 20(12): 87.
- [9] 朱强,钟若飞,孙海丽,等.移动激光检测系统的隧道限界检测方法[J].测绘科学,2020,45(6):118.
ZHU Qiang, ZHONG Ruofei, SUN Haili, et al. Tunnel boundary detection method based on mobile laser detection system[J]. Science of Surveying and Mapping, 2020, 45(6): 118.

(收稿日期:2021-03-16)