

三维激光扫描在主体结构实测实量中的应用方法

杨敏, 方林, 陈志强

上海房屋质量检测站有限公司, 上海

收稿日期: 2024年12月14日; 录用日期: 2025年1月6日; 发布日期: 2025年1月17日

摘要

主体结构实测实量是施工及交房阶段必要的检验环节, 是建筑行业质量控制的重要抓手。本文对主体结构实测实量的主要分项及指标进行梳理, 根据三维激光扫描的技术应用特点, 将测试指标分为5大类, 随后详细阐述了针对上述指标的点云测试方法, 并与传统测试方法进行比对总结。最终形成基于三维激光扫描的主体结构实测实量应用方法, 为后续实际项目应用提供参考借鉴。

关键词

三维扫描, 实测实量, 点云应用

Application Method of 3D Laser Scanning in Actual Measurement of Main Structure

Min Yang, Lin Fang, Zhiqiang Chen

Shanghai Housing Quality Inspection Station Co., Ltd., Shanghai

Received: Dec. 14th, 2024; accepted: Jan. 6th, 2025; published: Jan. 17th, 2025

Abstract

The actual measurement of the main structure is a necessary inspection link during the construction and delivery stages and is an important lever for quality control in the construction industry. This article summarizes the main sub-items and indicators for the actual measurement of the main structure. Based on the application characteristics of 3D laser scanning technology, the testing indicators are divided into 5 categories. Subsequently, the point cloud testing methods for the above indicators are elaborated in detail and compared with traditional testing methods to summarize. The final form is a practical application method based on 3D laser scanning for the measurement of the main structure, providing reference and reference for subsequent practical project applications.

Keywords

3D Laser Scanning, Actual Measured Quantity, Point Cloud Applications

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来, 全国各地因为新建房屋质量问题引发的事件层出不穷, 房屋质量已经成为实实在在的民生问题, 建筑行业必须提高自身的建造水平以满足更高标准的需求。工程实测实量是对建筑物主体结构进行实际测量和量化评估的过程, 工程施工中通过专业测量的核验可实现提高现场施工质量, 确保后续工作的顺利推进, 同时还能有效控制成本, 避免资源浪费。实测实量体系已成为建筑市场的质量控制趋势[1], 在建筑行业发挥着重大的作用。

实测实量体系目前已经形成了一套较为完善的评估标准和作业流程, 但在实际操作中, 存在现场工作繁琐, 测量结果具有局限性等问题。三维激光扫描是一种实景三维测绘技术, 目前已经被逐步引入实测实量的项目应用中, 通过一站式的三维点云数据, 可以分析各类参数指标, 对此查阅相关文献并没有较为具体的梳理和方法介绍。本文将详细阐述各类别实测实量参数的传统测量方式及点云测试方式, 并对不同的方法进行分析比对, 为今后采用三维扫描技术在实测实量中的工程应用提供指导和参考。

2. 实测实量概述

实测实量是指运用各种测量器具, 通过现场测量采集得到的能够反映产品质量的数据, 依据相关质量验收规范, 把实测数据的误差控制在规范所允许范围之内的方法。实测实量在主体结构阶段涉及的分项主要有混凝土结构[2]、抹灰工程、砌体工程, 测量的指标涵盖截面尺寸偏差、各类平整度、垂直度、水平度极差、楼板厚度、洞口尺寸、方正性等内容, 见图 1 所示。作为房产质量评估体系中最为客观和必要的组成部分, 实测实量已经形成一套全面及成熟的验收方法及评价标准[3], 其对于质量控制的重要性, 不仅展现在施工阶段, 同时也是交房阶段的重要依据和必备环节。



Figure 1. Main structure of the actual measurement of the main sub-items and indicators

图 1. 主体结构实测实量主要分项及指标

3. 三维激光扫描应用

针对主体结构实测实量不同分项的测试目标,如墙、柱、梁、顶板、地面、空间等,采用三维激光扫描仪进行有针对性的数据采集,根据各项指标的不同特性,结合点云配套处理软件的不同模块,同时利用一些具有数据处理功能的计算工具,基于上述同样形成一套实测实量的点云测试方法,根据处理方法对各个指标进行分类,见图 2 所示。



Figure 2. Point cloud application classification of measured real indicators

图 2. 实测实量指标的点云应用分类

3.1. 截面尺寸偏差

截面尺寸偏差是体现层高范围内混凝土柱及剪力墙施工后的实际尺寸与原设计尺寸的偏差,其合格标准为 $[-5, 8]$ mm。

1) 常规测试方法

用钢卷尺测量柱、墙截面尺寸,以同类构件的面作为 1 个测区,每个测区由地面上 300 mm 及 1500 mm 位置各测量截面尺寸 1 次,选取与设计尺寸偏差的最大值,要求共计实测 20 个测区。

2) 点云测试方法

以一个三层的局部砼框架为例,采用三维激光扫描进行数据采集,考虑到涉及精细测量,因此应尽量少的布置测站,将点云进行拼接、去噪后得到三维点云模型,同时根据原始设计图纸采用 Revit 进行三维建模,将 BIM 模型与点云模型同时导入点云处理软件坐标系模块,见图 3 所示,采用最佳拟合或特征点拟合进行模型与点云的对准,随后采用分析模块进行截面尺寸比对,将公差设置为 $[-5, 8]$ mm,通过软件计算得到偏差分析结果,见图 4 所示。

与常规测试方法相比,点云测试方法可以更高效的同时比对多个结构构件,且分析结果更加直观、全面,但需要注意的是,大范围的拼接会造成误差的累积,层高范围内的所有结构构件不可一次成模进行比对,需要进行小范围的切分,以此得到更为可靠的偏差测试结果。

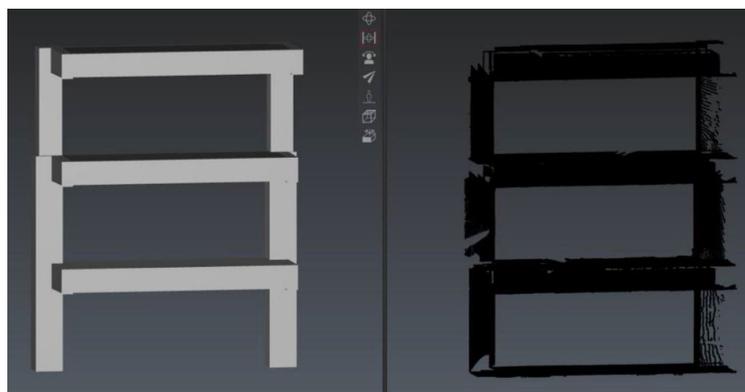


Figure 3. Bim model (left) and point cloud model (right)

图 3. Bim 模型(左)与点云模型(右)

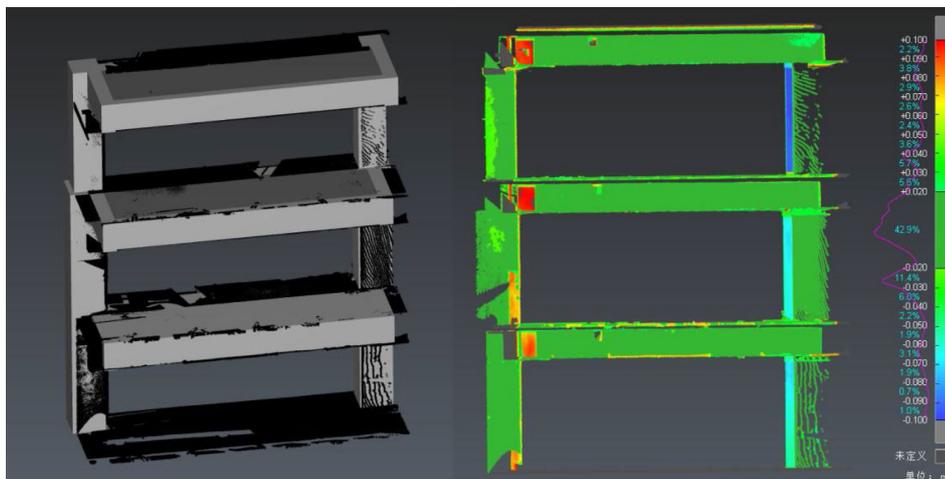


Figure 4. Model alignment and section deviation calculation

图 4. 模型对准及截面偏差计算

3.2. 平整度、水平度极差

平整度体现层高范围内各类竖向构件表面的平整性程度，合格标准为砼、砌体 $[0, 8]$ mm，抹灰 $[0, 4]$ mm；顶板水平度极差反映顶板水平标高差，也可认为是平整度的一种，其合格标准为 $[0, 15]$ mm。

1) 常规测试方法

平整度：所选墙长度小于 3 米时，同一面墙取左上和右下 2 个角，采用靠尺进行 2 次测量；所选墙面长度大于 3 米时，除上述外，还应在墙长中间部位增加 1 个测点。墙跨洞口部位要求必测，混凝土柱可以不测表面平整度。

顶板水平度极差：首先采用激光扫平仪在板跨区域内打出一条水平基准线，选取测区内距顶板边线内偏移 500 mm 的 4 个角点，如板跨较大时可在中心位置再增设 1 个测点，逐一测量混凝土顶板与水平基准线之间的上述 5 个垂直距离。

2) 点云测试方法

根据拟定的目标，采用三维激光扫描进行数据采集，在点云处理过程中，要进行细致的去噪工作，建议采用其他专业软件的体外孤点功能进行辅助清理，随后调整合适的平面坐标系，将墙体或顶板点云数据导入分析模块，根据不同的指标类别将公差设置为 8 mm (混凝土、砌体)、4 mm (抹灰)，15 mm (顶板)，得到平整度、水平度极差计算结果，见图 5 所示。

与常规测试方法相比，点云测试方法在平整度方面的表现同样高效、直观且全面，尤其在区域较大的顶板水平度极差分析时，可以准确找到不满足限值的准确部位，在 15 mm 的限值基础上，通过以每 1 mm 间隔对公差进行增加并同步计算后，准确得到不满足要求部位超限的具体数值，为后续的水平度整改措施提供依据。

3.3. 垂直度

垂直度体现层高范围内竖向构件表面的垂直程度，其合格标准为砼 $[0, 8]$ mm、砌体 $[0, 5]$ mm、抹灰 $[0, 4]$ mm。

1) 常规测试方法

墙长度小于 3 米时，墙体距两端竖向阴阳角约 300 mm 处，分别按下列规则测试 2 次：一是靠尺底部接触到地面位置时测 1 次垂直度，二是靠尺顶部接触到混凝土顶板位置时测 1 次垂直度；墙长度大于

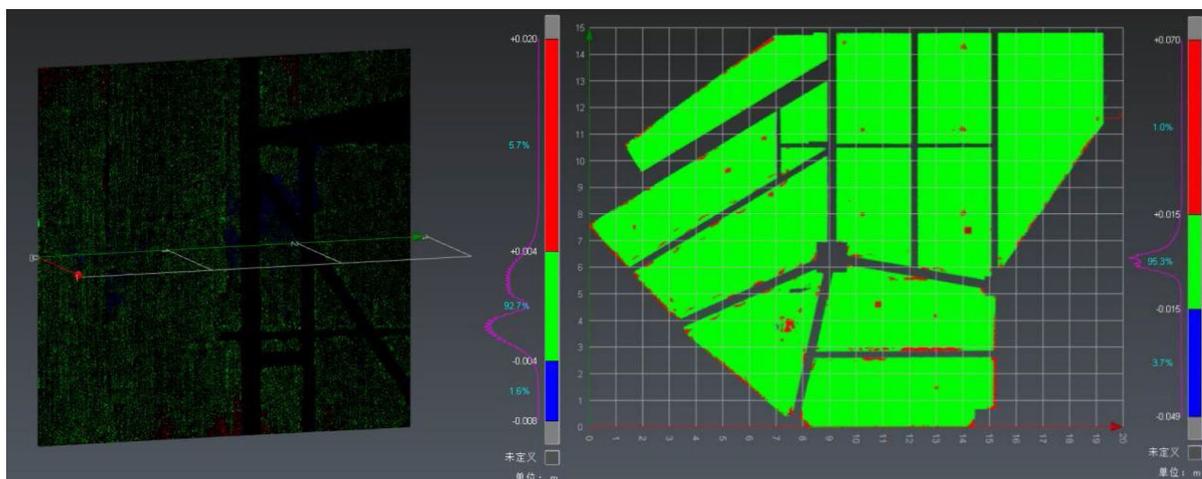


Figure 5. Calculation results of the range of wall flatness and roof levelness

图 5. 墙面平整度及顶板水平度极差计算结果

3 米时，在上述规则基础上，再增设墙长中间位置测 1 次。墙体洞口侧为垂直度必测位置。

砣柱：任意选取砣柱四周面中的两面，分别将靠尺顶部接触到上顶板和下地面各测 1 次垂直度。

2) 点云测试方法

由于主流配套软件中没有现成的垂直度计算功能，因此引用点云分析模块中的坡度计算进行成果转换。根据不同的测试目标，以垂直度合格标准混凝土 8 mm、砌体 5 mm、抹灰 4 mm 作为两点间的偏差最大值，截取墙体点云数据，测量出墙体段的实际高度(距离)，基于上述数据采用坡度公式得到坡度限值，将其作为主要参数，调整墙体坐标系，使用软件坡度计算功能得到墙体垂直度计算结果，见图 6 所示，砣柱参照上述方式。

与常规测试方法相比，点云垂直度测试可以达到与平整度相仿的应用效果，即高效、直观且全面。

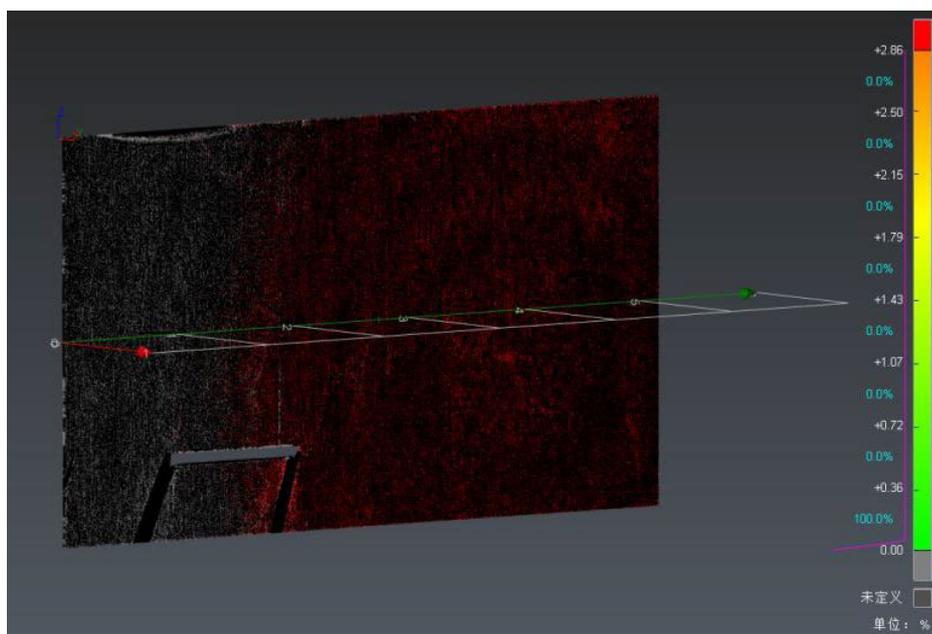


Figure 6. Wall perpendicularity calculation results

图 6. 墙面垂直度计算结果

3.4. 方正性、洞口尺寸

方正性体现空间的方正程度，其合格标准为 $[0, 10]$ mm；洞口尺寸体现实测与原设计尺寸的偏差，其合格标准为 $[-10, 10]$ mm。

1) 常规测试方法

方正性：采用尺具或激光扫平仪制作两条控制辅助线，在进行必要的校核工作后，使用激光扫平仪打出十字线，沿长边墙方向分别测量 3 个位置与控制辅助线之间的距离，计算 3 个测试值之间的极差。

洞口尺寸：用卷尺测量门窗洞口的尺寸，累计测量 20 个测区，其中入户门和公共区域门窗为必选。

2) 点云测试方法

采用三维激光扫描对目标空间进行单测站数据采集，基于点云模型进行几毫米的切片，采用配套 CAD 插件进行轮廓拟合(最小二乘法)，也可导出 txt 采用更优的算法(如整体最小二乘法)进行拟合[4]，在 CAD 中绘制正方形或矩形作为方正性的四条控制线，等距离的测量边墙与控制线之间的距离，得到空间方正性分析结果，见图 7 所示。门洞尺寸同样采用切片拟合方法，与设计尺寸进行比对。

与常规测试方法相比，激光扫平仪制作的十字线较难同时满足双向墙面的角度关系，在卷尺量测时也会造成一定的精度损失。基于三维激光扫描单测站的点云数据，通过可靠算法进行矢量拟合，在制图软件中绘制标准图形作为辅助控制线，并据此进行全面量测分析，对测试方法进行了升级优化。

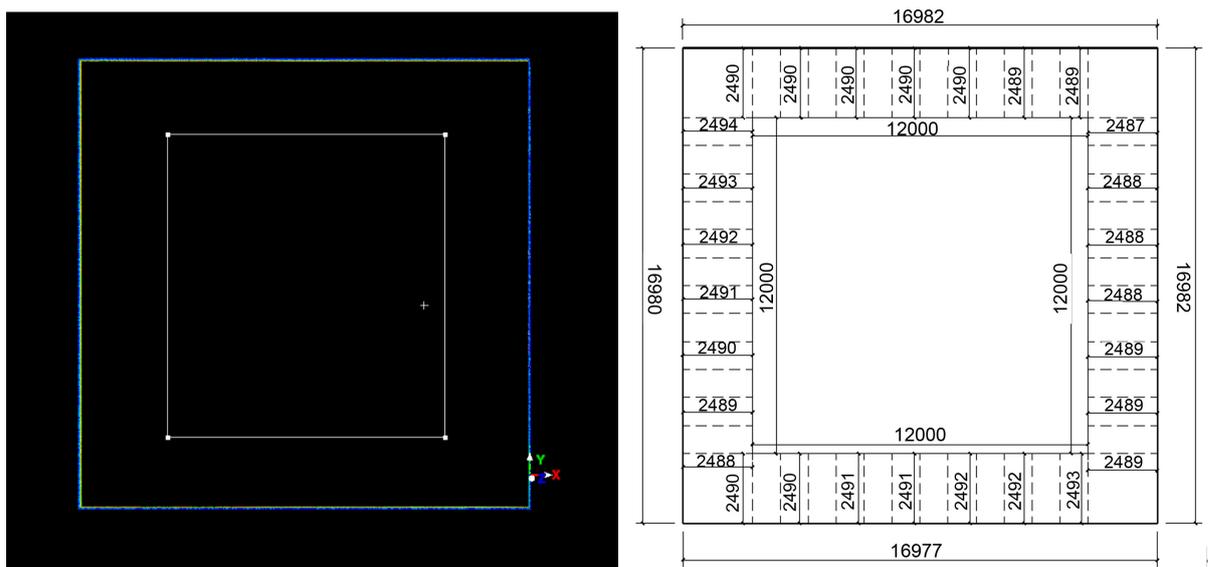


Figure 7. Point cloud contour fitting and square analysis
图 7. 点云轮廓拟合及方正性分析

3.5. 楼板厚度

楼板厚度体现同跨板的厚度与原设计尺寸的偏差，其合格标准为 $[-5, 8]$ mm。

1) 常规测试方法

当采用非破损法测量楼板厚度时，常用非金属超声波检测仪，将发射与接收探头分别置于被测楼板的上下两侧，根据上下楼层图纸及检测仪的查找功能进行位置调整，寻找其最小值即为楼板厚度；当采用破损法测量楼板厚度时，常用电钻进行开凿钻透，用卷尺直接测量孔洞厚度。

2) 点云测试方法

点云在楼板厚度的应用中，主要采用计算的方式进行。首先将测试部位的楼板从点云模型中截取

来, 对该楼板进行必要的噪点清理, 随后将楼板的顶面和底面分别导出为 txt 文件, 即 txt 文件中包括所有点的三维坐标数据, 将数据导入统计软件进行约束计算[5], 主要思路为将顶、底部 x、y 数据同时相等的点位筛选出来, 再将筛选出的点位进行 z 坐标的相减, 以此得到楼板厚度的计算结果。以一块 250 mm 厚度的楼板为例进行测试, 导出板顶点位共计 164,641 个, 导出板底点位共计 136,397 个, 通过软件筛选得到 x、y 相等即平面位置一致的点位共计 3129 个, 得到点云计算板厚范围在 225~255 mm, 平均值为 243 mm, 具体板厚测试结果分布情况见图 8 所示。

与常规测试方法相比, 首先超声波楼板测厚的方法精度较差, 受测试影响因素较多, 其次当采用破损法进行测试时, 需要对楼板进行开洞, 此举尤其对屋面板的影响较大, 且最终可能只能得到零星的板厚数据, 而点云测试方法可以在避免破损的前提下, 高效的计算出数千的测试值, 并根据计算板厚分布情况进行具体分析和纠偏。

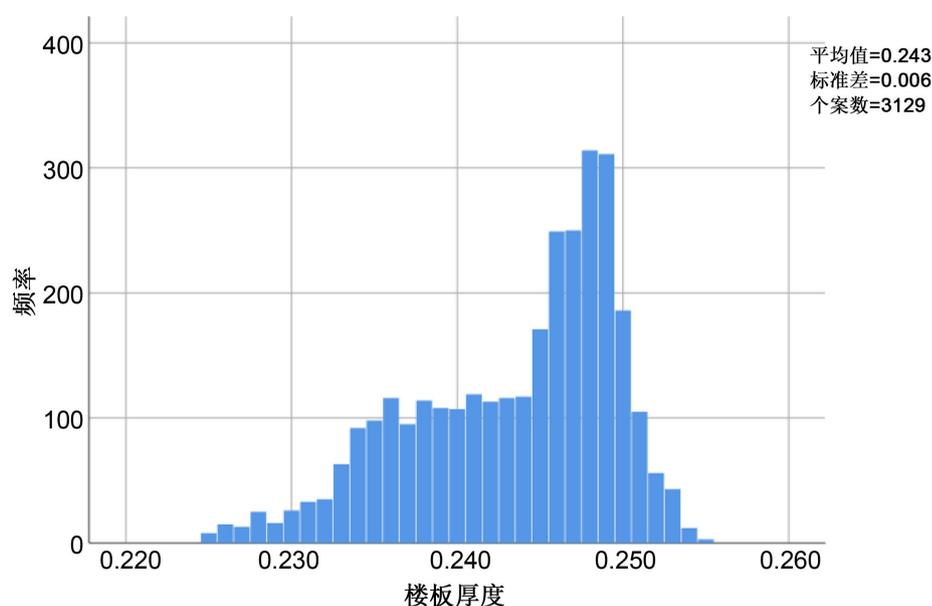


Figure 8. Point cloud floor thickness calculation results statistics

图 8. 点云楼板厚度计算结果统计

4. 结论

本文结合主体结构实测实量的分项指标特性和三维激光扫描的技术特点, 将点云在实测实量中的测试方法分为 5 大类, 详细介绍了具体应用的过程及思路, 并与传统测试方法进行比对总结。

1) 针对截面尺寸偏差, 将点云模型与 BIM 模型进行有效对准, 根据合格标准设置公差, 通过软件分析模块计算多构件尺寸偏差。

2) 针对平整度及水平度极差, 对点云数据进行适当的处理, 根据合格标准分别设置拟定指标的公差, 通过软件分析模块得到平整度、水平度极差计算结果。

3) 针对垂直度, 利用软件分析模块中的坡度计算, 根据不同指标的合格标准及墙体测试段的高度来进行成果转换, 得到墙体垂直度计算结果。

4) 针对方正性及门洞尺寸, 基于单测站点云数据, 采用可靠算法进行矢量拟合, 通过绘图软件制作标准控制线, 据此进行全面量测与分析比对。

5) 针对楼板厚度, 将顶、底面数据导入统计软件中进行约束计算, 以此得到数千级别的楼板厚度计

算值，并可绘制详细分布统计图进行分析。

参考文献

- [1] 袁毅. 基于实测实量的建筑主体结构质量控制研究[J]. 建筑机械化, 2022, 43(8): 79-82.
- [2] 朱名峰. 混凝土结构工程实测实量标准化控制[J]. 砖瓦, 2020(10): 118-119.
- [3] 许秀冬. 实测实量的几点见解[J]. 工程建设与设计, 2018(2): 34-35.
- [4] 杨敏. 基于整体最小二乘法的点云线性拟合及比对方法研究[J]. 应用数学进展, 2023(9): 3785-3793.
- [5] 王永锋. Excel 在地铁隧道线路曲线段计算中的应用[J]. 建筑技术, 2022, 53(9): 1-3.