

# 三维激光扫描技术在地铁车站土建竣工交付建筑信息模型中的应用\*

李 鹏<sup>1</sup> 朱家德<sup>2</sup> 张佳丽<sup>1</sup> 张剑豪<sup>1</sup> 田 蓉<sup>3</sup> 甘英聪<sup>4</sup>

(1. 太原轨道交通集团有限公司, 030002, 太原; 2. 同济大学经济与管理学院, 200092, 上海;

3. 太原城市职业技术学院工程经济系, 030027, 太原;

4. 上海城建信息科技有限公司, 200131, 上海//第一作者, 高级工程师)

**摘 要** 以太原市轨道交通 2 号线一期工程某站为例, 详细阐述了三维激光扫描技术在地铁车站土建竣工交付建筑信息模型中的应用。阐明了采用三维激光扫描技术创建点云模型的工作流程, 提出点云模型和基于施工图建立的建筑信息模型分析对比的步骤和方法。应用三维激光扫描技术能使竣工交付模型与现场保持一致性, 便于机电设备的高精度安装, 也为后续的长期维保工作提供数据支持。

**关键词** 三维激光扫描; 建筑信息模型; 土建交付模型

**中图分类号** TU712.5

**DOI**:10.16037/j.1007-869x.2022.04.013

## Application of 3D Laser Scanning Technology in Metro Station Civil Construction Completion Delivery BIM Model

LI Peng, ZHU Jiade, ZHANG Jiali, ZHANG Jianhao, TIAN Rong, GAN Yingcong

**Abstract** Taking certain station of Taiyuan Rail Transit Line 2 first phase engineering as an example, the application of 3D laser scanning technology in metro station civil construction completion delivery BIM model is elaborated. Workflow of point cloud model creation using the 3D laser scanning technology is expounded. The steps and methods of comparative analysis of point cloud model and BIM model based on construction drawing are proposed. The consistency between BIM delivery model and the site is achieved through application of 3D laser scanning technology, convenient for the high-precision installation of electrical equipment, providing data support for future long-term maintenance.

**Key words** 3D laser scanning; BIM (building information model); civil construction delivery model

**First-author's address** Taiyuan Rail Transit Group Co., Ltd., 030002, Taiyuan, China

三维激光扫描技术是整个三维数据获取和重构技术体系中的最新技术, 实现了从实体进行直接、快速、逆向获取三维数据, 以及对模型的重新构建<sup>[1]</sup>。BIM(建筑信息模型)是通过 BIM 技术使用数位化方法建造的准确建筑物虚拟模型<sup>[2]</sup>。将 BIM 和所对应的三维激光扫描模型进行对比、转化、协调, 可达到辅助工程质量检查、快速建模、减少返工等目的<sup>[3]</sup>。

本文总结的太原市轨道交通 2 号线(以下简称“2 号线”)项目中三维激光扫描技术与 BIM 结合的经验, 可为后续同类车站 BIM 土建主体结构模型创建提供参考。

## 1 三维激光扫描技术

### 1.1 应用现状

三维激光扫描技术又称为实景复制技术。基于该技术, 应用无合作目标激光测距仪与角度测量系统组合的自动化快速测量系统, 能对复杂现场和空间被测物体进行快速扫描测量, 从而直接获得激光点所接触的物体表面的水平方向、天顶距、斜距和反射强度<sup>[4]</sup>。三维激光扫描仪可自动存储并计算获得点云数据。经过计算机对点云数据的处理, 再结合 CAD(计算机辅助设计)软件等进行数据整合, 可快速重构出被测物体的三维模型及线、面、体、空间等各种制图数据。

三维激光扫描技术在获得与现场施工实际保持高度一致的竣工模型过程中有着巨大的优势, 主要体现在: ①三维激光扫描获得的土建及机电构件的空间轮廓模型在导入相应 BIM 软件后, 可与基于

\* 太原市 2018 年第三批科学技术项目资金支持可持续发展议程创新示范区建设重大项目

施工图创建的模型进行比对,具有可视化、易操作的优势;②三维激光扫描依据成千上万激光测距点,可获得每个构件表面的高精度测量数据,准确性极高;③三维激光扫描的数据由计算机进行处理,能最大程度地减少对施工现场的负面影响。

BIM 以建筑工程项目的各项相关数据信息作为基础进行建模,通过数字信息技术来仿真建筑物的真实信息<sup>[4]</sup>,具有可视化、协调性、模拟性、优化性和可出图性五大特点。

三维激光扫描仪扫描施工现场所得的点云数据,经处理后,即可生成能反映施工现场的点云模型。将点云模型与依据施工图建立的施工图 BIM 进行对比,可及时发现二者差别,从而辅助决策。

1.2 应用思路

基于三维激光扫描技术的点云模型能直观反

映出真实的施工情况,为工程检验工作提供帮助。在施工过程中:对于与施工图 BIM 一致的点云模型数据,可直接进行电子化记录与数字化存档,便于后续施工使用;对施工现场已经完成且无法修改的施工内容,点云模型能快速提取现场施工变更信息,反馈给相关主体,帮助其及时对竣工交付模型信息进行一致性调整。

通过实践三维激光扫描与 BIM 技术结合的探索应用,总结出三维激光扫描技术与 BIM 技术在施工阶段以及竣工交付阶段的结合应用思路,真正实现三维模型的所见(建)即所得。

2 某站的竣工交付 BIM

点云模型创建及其应用与土建竣工交付模型的流程如图 1 所示。

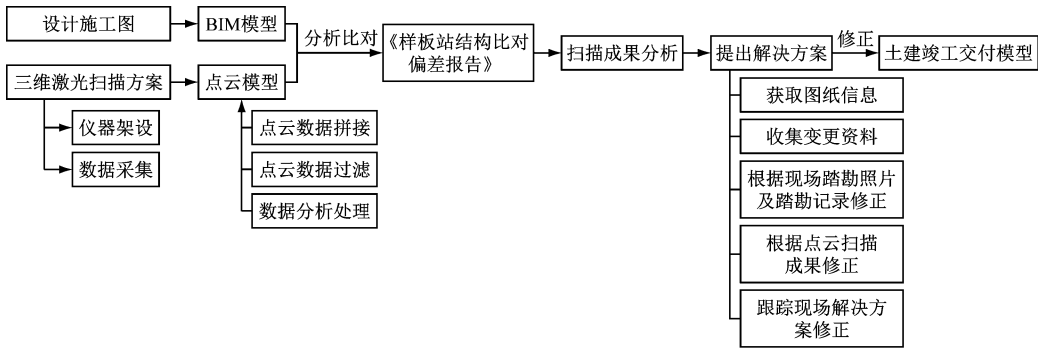


图 1 点云模型创建及应用与土建竣工交付模型的流程

Fig. 1 Process of point cloud creation, application and civil construction completion delivery model

2.1 项目背景

本文选择 2 号线一期工程某站作为扫描的目标站。目标站长约 314 m,其标准段宽 24.3 m,为换乘站。由于 BIM 技术较晚应用于 2 号线,故施工图 BIM 与现场实际情况存在一定的差异,既不能作为土建竣工交付的模型,也无法准确指导机电设备的安装施工。对此,采用三维激光扫描技术,根据工程现场情况建立点云模型。

点云模型与施工图 BIM 比对,主要核查该车站柱、梁、板、墙、楼梯等现场构件以及各层结构板开孔情况。因此,三维激光扫描的主要内容为:各层楼板预留孔洞、混凝土上下翻梁及加腋梁、柱位、墙体定位。扫描后最终形成完整的车站主体结构三维点云数据。目标站扫描所用仪器如表 1 所示。

由于扫描精度要求较高,故使用精度较高的 Trimble 三维激光扫描仪进行数据采集。

表 1 目标站扫描所用仪器

Tab.1 Scanning instrument at target station

设备名称	用途
Trimble 全站仪	测量导线控制点
Trimble 三维激光扫描仪	车站整体数据采集
棱镜及棱镜杆	对中已知测站点
标靶	拼接转站及控制联测

扫描工作过程一般包括扫描计划定制、外业测量和内业数据处理三个环节。扫描工作完成后,还需根据扫描成果提出针对性的解决方案。

2.2 扫描计划定制

点云数据采集的流程如图 2 所示,包括现场勘查、点云和标靶的数据采集、数据配准等步骤。

明确扫描任务后,首先必须去现场进行实地考察,确定扫描的基本要素,对扫描困难区域进行处

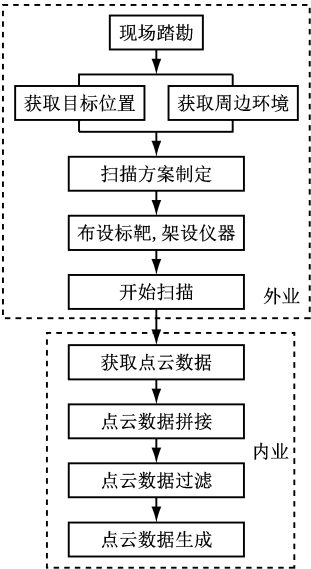


图2 点云数据采集流程

Fig. 2 Data acquisition flow of point cloud

理。其次需要进行实地扫描,根据扫描数据的要求确定仪器架站的位置,进行现场扫描记录。

2.3 外业测量

2.3.1 架站布设

根据项目所需,应架站在现场通视条件较好位置进行扫描作业。扫描前,现场必须提前布置好建筑坐标系,对平面坐标与高程统一管理。

扫描现场采用自由设站方式,两站之间需保持连续。目标站现场实地扫描共架设 198 座测站,其中站厅层设 45 座,设备层设 74 座,站台层设 79 座。目标站的站台层测站分布如图 3 所示。

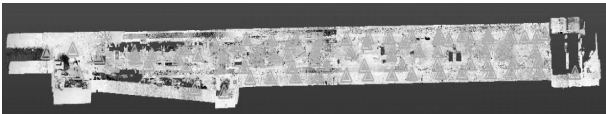


图3 目标站的站台层扫描仪器架站分布

Fig.3 Distribution of scanning instruments on platform level of targeted station

2.3.2 扫描方案

根据设计的要求,现场测站的扫描仪器采用 2 mm@25 m 的点云分辨率进行全景扫描作业,并利用标靶或点云进行拼接。拼接误差控制在 2 mm 以内。

2.3.3 外业测量操作流程

现场扫描工作获取的点云数据是整个三维场景构建与可视化的基础数据,对构建模型的质量有着不可忽视的影响<sup>[5]</sup>。车站扫描面积较大,因此需

要多个测站的扫描数据拼接起来构成完整的模型。在三维激光扫描仪周围设置标靶,作为后期点云拼接中的连接点和坐标转换中的控制点。完成扫描后,将所有测站扫描的点云拼接到同一模型中。外业测量的操作流程如图 4 所示。

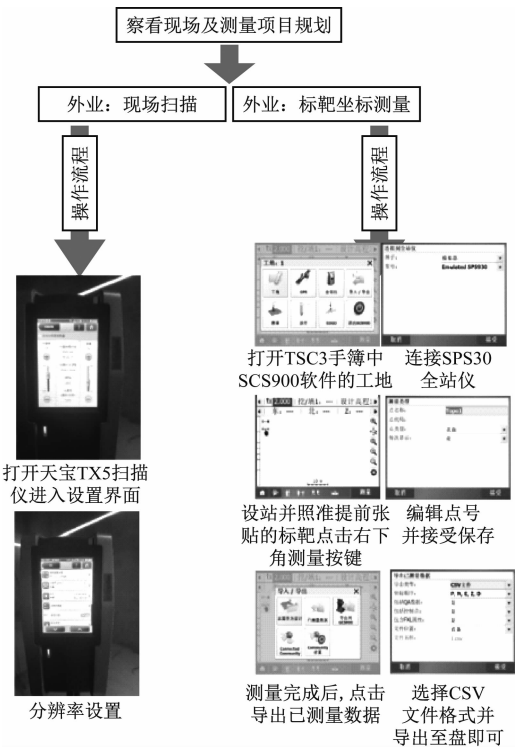


图4 外业测量操作流程

Fig. 4 On-site measurement operation process

2.4 内业数据处理

内业数据处理包括数据的导入、数据的配准、降噪等。内业数据处理需通过专业的点云处理软件。该项目采用 Trimble RealWorks 点云处理平台完成点云数据的内业处理。

1) 点云数据的导入。首先,原始数据通过扫描仪机身的 SD 卡 (Secure Digital Card) 进行拷贝;然后,将数据以 FLS 格式导入 RealWorks 软件;最后,提取点云,即可查看各测站采集的点云数据。

2) 点云数据的拼接。只有先把不同测站的扫描数据校准到统一的坐标系下,才能进行点云模型的重建及数据分析<sup>[6]</sup>,这个过程称作“点云数据拼接”。目前主要有标靶拼接、特征点拼接、已知点拼接、点云拼接等方式。目标站采用了标靶拼接和点云拼接的混合拼接方式。图 5 是由站台层点云数据拼接后形成的目标站点云模型。



图5 拼接后站台层点云模型

Fig. 5 Point cloud model of platform layer after splicing

3) 点云模型与施工图 BIM 比对。完成点云数据拼接形成点云模型后,需要与 BIM 模型进行比对。基于相同的水平基点及高程的情况下,比对目标站云模型与施工图 BIM 存在的不一致点。

## 2.5 点云模型的技术难点与比对结果

受环境、方案设计及软件处理的影响,目标站的点云模型创建及对比遇到以下难点:

1) 现场摆放的施工材料多,某些测站不通视,导致点云残缺;站台层部分位置存在积水,无法架设测站。

2) 精度质量控制跨度过长,难以控制精度;施工材料过多导致噪点过多,不仅后期去噪点工作量巨大,而且影响了最终点云模型的完整度。

3) 仪器自身精度误差虽仅为 2 mm,但受现场施工振动影响,实际扫描测量误差达 10 ~ 30 mm,影响了最终点云模型的精度。

经比对统计,点云模型与施工图 BIM 的结构偏差共存在 68 处,统计结果界面见图 6。

## 2.6 处理方案

对于成果分析比对结果中需进行一致性处理的数据,有 6 种处理方案。

1) 依据最新图纸完善模型。依据相应的图纸资料补充完善模型。

2) 收集变更资料。以三维激光扫描模型为依据,及时获取变更资料,并根据变更资料修正模型。

3) 根据现场踏勘照片、踏勘记录修正。针对发生偏差问题,对现场进行踏勘,拍摄相关照片及收集资料,并根据收集资料修改模型。

4) 根据点云扫描成果修正。将点云数据转化为 rcp 格式并导入 Revit 软件中,再根据扫描定位点与依据竣工图纸创建的 Revit 竣工交付模型(以下简称“Revit 模型”)进行对位。完成对位后,根据点云模型与 Revit 模型匹配程度进行对位工作,并修改 Revit 模型,使之与现场保持一致。图 7 是站台

层点云数据与 BIM 模型比界面。

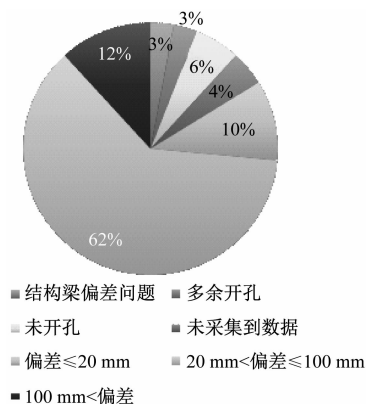


图6 目标站的结构偏差比对结果统计界面

Fig. 6 Statistics of structure deviation comparison results of targeted station

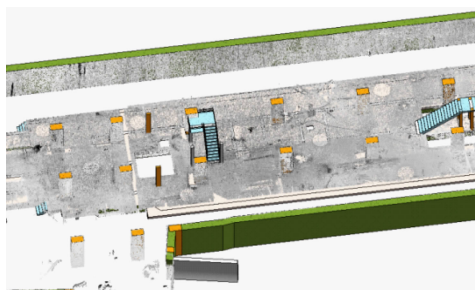


图7 站台层点云模型与 Revit 模型比界面

Fig. 7 Comparison between platform level point cloud model and Revit model

5) 跟踪现场解决方案修正。首先,将现场踏勘资料及点云扫描资料形成专题档案记录;然后,分析并确定相关主体偏差的原因;之后,根据偏差原因再次进行模型修改,最终形成与现场一致的 BIM。

6) 无需处理部分。偏差≤20 mm 的孔洞属于允许误差范围内,无需对模型进行二次修改。

Revit 模型的修正情况统计见表 2。

由模型修正情况可知,施工阶段应优化管理流程,及时为施工现场提供完整的施工图纸,减少图纸变更产生的影响,应加强现场资料管理和质量管理,减少施工误差。

## 3 土建交付 BIM 的成果

基于三维激光扫描技术的土建竣工交付 BIM 保证了与工程现场的一致性,提高了交付模型的质量,能提供准确的工程信息来辅助验收部门验收。通过三维激光扫描,可较为完整地掌握各处的施工

表 2 目标站竣工交付模型修正情况

Tab.2 Modification of construction completion delivery model of targeted station

问题描述	原因分析	模型修正情况
站厅层 12-15 轴交 B-C 轴区域,图纸为下翻梁,现场为上翻梁	图纸变更	根据变更资料,修正模型
设备层 2-4 轴交 A 轴区域,结构图中梁 DGL2-4(1 000×4 450)与梁 DG2-3(1 000×600),施工现场 DGL2-4 延伸到 4 轴;图纸与现场不一致	图纸变更	根据变更资料修正模型
站台层 16-17 轴与 B 轴区域,图纸未开孔,现场开孔,且开孔尺寸为 1 800 mm×1 000 mm	现场施工,预留孔洞	模型已修正 预留施工孔洞,现已封闭
设备层 6-7 轴交 B-C 轴区域,孔洞上边缘负偏差较大,为 714.43 mm	施工现场测量误差	模型已修正
站台层 28 轴交 C 轴处,洞口左侧偏差 165.17 mm	建模问题	模型已修正

偏差及完工形态。

1) 通过比对发现,目标站的柱位及墙位施工偏差不大,均在可控范围内。

2) 现场开孔为主要核查对象,通过三维激光扫描发现目标站施工现场存在开孔位置偏差较大现象。经分析,其主要原因为设计图纸及设计变更问题。因此,应该优化施工现场资料管理,加强施工质量管理。

3) 目标站的外业测量耗时 1 周,内业数据处理耗时 2 周,与传统测量相比,其大大缩减了测量的时间,且测量范围全面、准确度高,大大缩短了数字化竣工交付的周期以及提高了竣工交付质量。

目标站的三维激光扫描成果满足了现场复核工作的需求,其数字化竣工交付的 BIM 能支持地铁的百年运维工作。

4 结语

城市轨道交通项目规模大,参与方多,图纸变更频繁,其协同调整和同步沟通非常困难。三维激光扫描应用于土建竣工交付 BIM 构建中,能保证竣工交付模型与工程现场的一致性,便于机电设备的高精度安装。

三维激光扫描技术对施工现场环境要求较高,点云模型与 BIM 模型比对存在技术处理难点。这是影响竣工交付 BIM 准确性的重要技术因素。城市轨道交通项目如在 BIM 建模中遇到项目设计及变更资料不完整、梳理收集工作有难度的情况,可基于三维激光扫描技术和 BIM 技术来创建准确的竣工交付模型,为地铁的百年运营提供精准的数据支持。

参考文献

[1] 张俊,张宇贝,李伟勤. 3D 激光扫描技术与 BIM 集成应用现状与发展趋势[J]. 价值工程, 2016(14): 202.  
ZHANG Jun, ZHANG Yubei, LI Weiqin. Current status and development trend of 3D laser scanning technology and BIM integration[J]. Value Engineering, 2016(14): 202.

[2] 宋莹莹. 浅谈 BIM 在工程建设中的应用[J]. 工程技术(文摘版),2017(5): 197.  
SONG Yingying. Brief talk about the application of BIM in engineering construction [J]. Engineering Technology, 2017(5): 197.

[3] 赵昕,马智亮,张建平,等. 中国建筑施工行业信息化发展报告(2015) BIM 深度应用与发展[M]. 北京:中国城市出版社,2015.  
ZHAO Xin, MA Zhiliang, ZHANG Jianping, et al. Development report of informatization of China's construction industry (2015) in-depth application and development of BIM [M]. Beijing: China City Press, 2015.

[4] 白小斐. BIM 技术在我国建筑行业的发展形势分析[J]. 中国建筑金属结构, 2013(18): 178.  
BAI Xiaofei. Analysis on the development situation of BIM technology in China's construction industry [J]. China Construction Metal Structure, 2013(18): 178.

[5] 王帅,王彤. 基于地面三维激光扫描及 VR 技术的 BIM 工程应用研究[J]. 水利规划与设计,2018(2):52.  
WANG Shuai, WANG Tong. Research on BIM engineering application based on ground 3D laser scanning and VR technology[J]. Water Resources Planning and Dsign, 2018(2):52.

[6] 中华人民共和国国家测绘地理信息局. 地面三维激光扫描作业技术规程:CHZ 3017—2015[S]. 北京:测绘出版社,2015.  
State Bureau of surveying, mapping and geographic information of the People's Republic of China. Technical specifications for terrestrial three-dimensional laser scanning: CHZ 3017—2015[S]. Beijing: Sinomaps Press, 2015.

(收稿日期:2020-07-12)