

# Research on Measurement Method of Concave-Convex Depth of Precast Beam End based on 3DLaser Scanning

Lin Tang\*, Jianguang Xie

Department of Civil and Airport Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing, 210016, China

**Abstract:** The concave-convex depth of the superposed surface of prefabricated beams is an important factor affecting the overall mechanical properties. In this paper, the concave-convex depth of the superposed surface of prefabricated beams is collected by point cloud data processing with the help of 3D laser scanning technology, and compared with the field measurement results. The results show that the software process overcomes the limitations in the field measurement process, the measurement results are more accurate, and can check or even replace the traditional method for measurement.

**Keywords:** Beam end superposed surface; Concave-convex depth; 3D laser scanning

## 基于三维激光扫描的预制梁端凹凸深度测量方法研究

唐琳\*, 解建光

南京航空航天大学, 土木与机场工程系, 南京, 中国, 210016

**摘要:** 预制构件叠合面的凹凸深度是影响装配式混凝土结构整体力学性能的重要因素, 本文借助三维激光扫描技术, 通过点云数据处理采集预制梁端叠合面凹凸深度, 并与现场测量结果进行比较。结果表明, 软件处理克服了现场测量过程中的局限性, 测量的结果更加精准, 能够检验甚至替代传统方法进行测量。

**关键词:** 预制梁端叠合面; 凹凸深度; 三维激光扫描

### 1 引言

近年来, 建筑产业迎来了现代化发展转型的窗口, 集节省人力、绿色环保等优点于一体的装配式建筑得到了重视与推广, 住宅建筑的工业化程度不断提升<sup>[1]</sup>。由于装配式建筑结构使用了大量需要在施工现场连接的叠合构件, 如果叠合面凹凸深度较低, 连接节点就无法达到“等同现浇”的力学性能<sup>[2]</sup>。因此, 需要在预制构件生产的过程中对叠合面进行处理, 使叠合面的凹凸深度满足一定要求, 在现行规范中, 预制梁端、预制柱端、预制墙端的凹凸深度均被要求大于 6mm<sup>[3,4]</sup>。

在住房和城乡建设部颁布的《装配式住宅建筑检测技术标准》中, 给出了采用透明基准板配合测深尺测量混凝土构件凹凸深度的方法: 将透明基准板紧贴待测混凝土表面, 保持测深尺垂直于基准板并推动探针, 则凹凸深度的值为测深尺读数减去多孔基准板厚度。然而, 预制梁端叠合面面积较小, 其表面除了人工制作的粗糙面外, 通常会设置抗剪键和键槽以提升

叠合面的力学性能, 在使用基准板配合测深尺进行测量时也存在着局限性。因此, 在现有研究的基础上, 进一步优化预制构件叠合面凹凸深度的测量方法, 实现凹凸深度的快速、自动测量, 可以为相关规范的完善建立基础, 对预制构件质量检测也具有重要的参考价值。

### 2 试件制备及测区划分

#### 2.1 试件制备

本文针对预制梁端叠合面的凹凸深度的快速测量方法展开研究, 制作的试件应能反应实际工程的情况。基于此, 本文制作了梁端截面尺寸为 265mm×600mm 的预制梁, 采用凿毛配合钢筋压痕的方式制作人工粗糙面, 并在端面中部位置设置长方形键槽, 制作得到的带人工粗糙面的预制梁叠合面如图 1 所示。



Figure 1. Superposed surface of prefabricated beam end  
图 1. 预制梁端叠合面示意图

## 2.2 测区划分

为降低人为因素的影响，实现软件计算凹凸深度的自动化，需要确定采样单元的大小，进而将测区划分为若干个采样单元。对每一个采样单元而言，凹凸深度的值都是唯一的，通过在点云数据处理软件中遍历采样单元内最高点、最低点的值，即可计算出凹凸深度的大小。考虑边界效应的影响，粗骨料的体积分数在接近试件表面处较少，随着深度的增加而不断提高<sup>[5]</sup>；此外，预制混凝土构件的最大骨料粒径一般在 25.0mm 至 31.5mm 之间，混凝土中的粗骨料与叠合面之间通常为斜向相交，完全与叠合面平行重合的情况很少。因此，在边长为最大骨料粒径的 1.5~2 倍的正方形区域内，即在边长为 50mm 左右的正方形区域内应该同时存在凸峰和凹坑，故本文选取 50mm×50mm 的正方形作为凹凸深度测量的采样单元。预制梁端由于设置了键槽，能够布置测区的区域仅限于键槽的上方和下方，因此，对于预制梁端面，按照 200mm×100mm 的大小划定测区，并按照两行、四列布置采样单元，如图 2 所示。



Figure 2. Prefabricated beam end test area layout  
图 2. 预制梁端测区布置图

## 3 凹凸深度测量方法

### 3.1 激光扫描法

本文采用的 ZG SCAN 313 手持式激光扫描仪根据光学测量中的非相干法，利用双目视觉原理采集待测

物表面空间位置信息。在使用三维激光扫描仪进行扫描前，需要对梁端截面进行简单的清理，并在表面上按照 10cm 左右的间距粘贴反光标记点，待扫描仪标定完成后即可开始扫描。将扫描得到的点云数据导入到 Geomagic Studio 软件中进行裁剪，去除扫描过程中采集到的相邻梁面和地面点云数据，并通过平面最佳拟合的方式完成点云坐标系的旋转，经过预处理的梁端叠合面点云数据如图 3 所示。

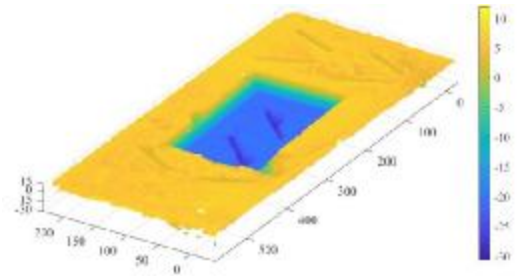


Figure 3. Cloud diagram of precast beam end point  
图 3. 预制梁端点云图

将预处理后的点云数据导入到计算软件中进行进一步处理，在梁端叠合面键槽上、下方各选出一块测区进行采样，在测区内分割出采样单元后，提取出每一基本采样单元内最高点、最低点，梁端截面上方测区、下方测区采样图分别如图 4 和图 5 所示。

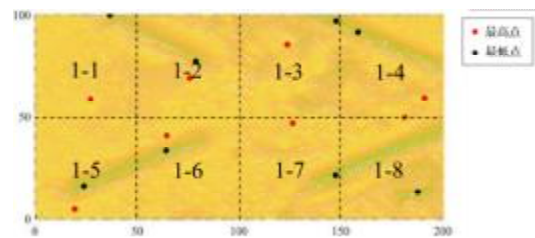


Figure 4. Sampling drawing of survey area above precast beam end  
图 4. 预制梁端上方测区采样图

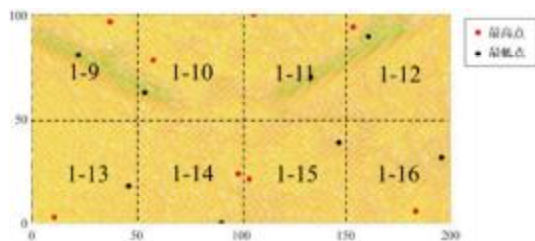


Figure 5. Sampling drawing of survey area under precast beam end  
图 5. 预制梁端下方测区采样图

### 3.2 测深尺法

根据激光扫描法中选取测区的位置，在梁端相应

位置画出测区进行测量。由于测深尺底部面积较小，在测量时可能无法紧贴采样单元内的凸峰最高点，为了扩大测深尺底部与采样单元内凸峰的接触面积，使测深尺能准确测得采样单元的凹凸深度，本文制作了50mm×50mm的带孔亚克力板配合测深尺进行测量。测量时将亚克力板置于凸峰上，移动亚克力板使中心孔洞位于采样单元内最低点所在凹坑附近，使测深尺底部紧贴亚克力板表面，推动探针向下即可测得凹凸

深度。

## 4 结果分析

由图4和图5可知，如果采样单元包含钢筋压痕的区域，则此采样单元的最低点往往出现在压痕凹槽内，对梁端叠合面的2个测区，软件计算结果和测深尺法测量结果如表1和表2所示。

Table 1. Statistical results of concave-convex depth in the upper measuring area of precast beam end

表 1. 预制梁端上方测区凹凸深度统计结果 (单位: mm)

名称	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8	平均值
软件测量	7.82	7.27	7.11	7.85	7.08	7.19	6.26	6.53	7.14
现场测量	7.77	7.10	6.91	7.61	6.76	7.11	6.08	5.47	6.85
差值	0.05	0.17	0.20	0.24	0.32	0.08	0.18	1.06	0.29

Table 2. Statistical results of concave-convex depth in the lower measuring area of precast beam end

表 2. 预制梁端下方测区凹凸深度统计结果 (单位: mm)

名称	1-9	1-10	1-11	1-12	1-13	1-14	1-15	1-16	平均值
软件测量	7.93	7.71	8.30	8.48	3.39	4.07	5.38	5.12	6.29
现场测量	8.24	7.57	7.45	8.02	2.50	3.06	5.44	4.96	5.91
差值	-0.31	0.14	0.85	0.46	0.89	1.01	-0.06	0.16	0.39

由表1和表2可知:

(1) 对于梁端测区，现场测量和软件计算得到的凹凸深度平均值的差值均小于10%，对于有钢筋压痕存在的采样单元，压痕的存在显著提升了叠合面的凹凸深度。

(2) 对于预制梁端上方测区，8个采样单元内均存在钢筋压痕形成的凹槽，软件测量得到的凹凸深度均位于6mm~8mm之间；下方测区内1-13、1-14、1-15和1-16采样单元不包含钢筋压痕，凹凸深度测量值低于6mm，导致下方测区凹凸深度的平均值小于上方测区。

(3) 上方测区的差值平均值为0.29mm，误差在5%以内；而下方测区平均值的差值为0.39mm，误差大于5%。对每个测区而言，预制梁端上方测区中只有1-8的差值显著高于差值平均值，而预制梁端下方测区中1-11、1-13、1-14的差值均显著高于差值平均值。由于预制梁端同一截面的点云数据为一次扫描所得，预处理的所有过程均同步进行，梁端下方测区由于靠近地面，现场测试难度更大，所测得数据的准确性较低，而三维激光扫描采集到的点云数据仍能准确记录位置信息，所得到的结果更加精确。

## 5 结论

本文通过激光扫描法和测深尺法对预制梁端叠合面的凹凸深度进行测量，比较了两种方法得到的结果。结果表明：钢筋压痕显著提升了采样单元凹凸深度的测量值，在对诸如梁端面下方测区等现场测量操作难度较大的测区进行测量时，软件测量克服了实施过程中数据采集的局限性，测量的结果更加精准，能够用于现场测量的检验甚至替代传统方法进行凹凸深度测量。

## References (参考文献)

- [1] 何继峰, 王滋军, 戴文婷等. 适合建筑工业化的混凝土结构体系在我国的研究与应用现状. 混凝土. 2014, (6), 129-132.
- [2] 张晋峰, 孙彬, 毛诗洋等. 装配式结构混凝土结合面粘结强度试验研究. 建筑结构. 2018, 48(23), 17-21+27.
- [3] 中国建筑标准设计研究院. 中国建筑科学研究院. JGJ1-2014 装配式混凝土结构技术规程. 北京: 中国建筑工业出版社. 2014.
- [4] 中国建筑标准设计研究院有限公司. GB/T 51231-2016 装配式混凝土建筑技术标准. 北京: 中国建筑工业出版社. 2017.
- [5] 杨进波, 阎培渝. 混凝土边界效应层中粗骨料的分布特征. 建筑材料学报. 2009, 12(05), 580-583+620.