

三维检测技术在铲斗头部机加工中的应用

许昊, 朱耀华, 仝芮华, 张琳伟, 汪俊楠

中信重工机械股份有限公司 河南洛阳 471003

摘要: 以本公司自产的铲斗头部为例, 介绍了一种三维检测技术在指导机械加工中的应用方法。该方法通过采用三维建模技术, 将大型异形件进行三维建模并模拟加工, 进而优化加工过程, 提高加工精度, 减少加工时间; 解决了检测结果在机加工中的应用问题, 使得检测结果可以直接指导加工过程。

关键词: 铲斗; 三维检测技术; 机加工

1 序言

大型矿用机械式挖掘机广泛应用在煤炭、矿石等矿山的采掘作业中。由于铲斗是直接接触物料的工作部件, 所以其面临的损耗和冲击也是最大的, 尤其是铲斗头部, 其外形直接影响铲斗在整个作业过程中的受力情况(作业阻力曲线)和铲装效果(满斗率)。因此, 铲斗头部的轮廓精度检测成为保证铲斗及其衬板的寿命和工作效率的关键因素。

为保证铲斗头部的轮廓精度, 我们选择用机加工的方式来保证其轮廓度符合设计要求。但铲斗头部形状结构复杂, 以往为保证其有足够的加工余量, 铸造尺寸需要远大于理论尺寸, 然后通过机床加工完成其外形。这种方法会导致大量空刀、过切等情况, 且存在加工周期长、毛坯利用率低、刀片损耗大等缺点。

三维检测技术以其快速将实物转化为数据的能力, 广泛应用在工业生产中。本文将以前公司自产的铲斗头部为例, 介绍三维检测技术在铲斗头部机加工中的应用。该应用能充分掌握铲斗头部的余量分布, 并为加工提供高精度的找正定位点, 从而减少切削量, 消除空吃刀量, 并为后续铸造件提供优化铸造方案的数据基础, 提高生产效率, 降低生产成本。

2 铲斗头部概况

该型铲斗头部(见图1)长约5m, 高约1.5m, 是大型挖掘机铲斗最前端的部分。该部分在安装衬

板后, 主要承担铲起物料进入铲斗的任务, 成品要求表面轮廓度 $\leq 2\text{mm}$ 。需要加工的表面为异形面, 用于安装铲齿衬板。



图1 铲斗头部

3 检测要求与仪器选用

根据检测要求, 需要向机加工部门提供两方面数据。①毛坯余量: 若余量不足, 不予加工, 返修后再次检测。②加工基准: 向机床提供可用于工件找正的加工基准。毛坯余量检测通过测量模型与实体模型的比对得以实现; 加工基准通过统一检测坐标系与数控程序坐标系来实现。根据以上方案, 我们决定采用三维扫描检测方案来满足上述要求。

可进行三维扫描的扫描仪多种多样, 如使用三脚架进行空间采集的地面三维扫描仪、搭配双相机的手持扫描仪等。铲斗头部需要对其前、后、侧、底所有面进行扫描, 根据本次被检测工件的特点, 我们决定采用摄影测量系统配合手持式三维激光扫描仪进行检测。

本方案所使用的仪器为本公司采购的

HandySCAN 700型三维激光扫描仪（见图2）和辰维MPS/S工业摄影测量系统（见图3）。HandySCAN 700型三维激光扫描仪是一种便携式计量级扫描仪，可形成由三角面片组成的等比例实体三维模型，经后续处理可制作NURBS曲面模型，通过NURBS曲面模型可以将其导入编程软件进行加工编程。辰维MPS/S工业摄影测量系统是一套光学三坐标测量系统，其原理是通过采用高分辨率专用相机，在不同位置和方向获取目标两幅或多幅数字图像，经图像预处理、标志识别、图像匹配、空间三角交会及光束平差后，得到待测点三维坐标，形成高精度点云模型。

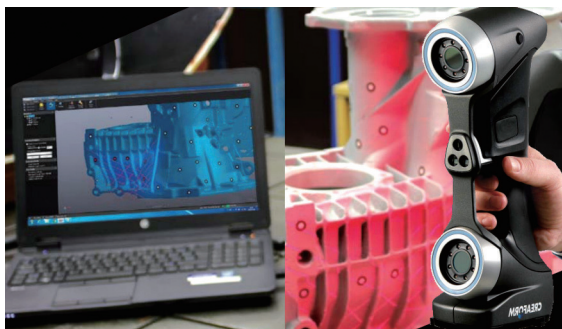


图2 HandySCAN 700型三维激光扫描仪



图3 辰维MPS/S工业摄影测量系统

4 检测方案

本检测方案在现场分两个步骤进行：第一步采用工业摄影测量系统对工件进行摄影测量，得到标志点的点云三维数据；第二步使用摄影测量的点云数据为基准对工件进行三维扫描。

由于HandySCAN 700型三维激光扫描仪最大视场宽度约为200mm，因此若单独使用三维激光扫描仪，其扫描过程中产生的累积误差会严重影响测量精度。为提高测量精度，降低累积误差对检测结果造成的影响，我们采用摄影测量点云数据来消除三

维激光扫描仪累计误差造成的影响。摄影测量系统单幅相片的视场即可覆盖整个铲斗头部，在同一方向上不存在累计误差，累计误差仅为铲斗头部正反面拼接误差，其测量误差可满足检测精度要求。

铲斗头部属于异形件，没有可用于机床找正的基准面。使用检测结果来指导机床进行机加工，需要在检测时建立实物基准，使实物基准分别在检测坐标系与数控程序坐标系下被有效识别，最后再由机床来识别实物基准，完成铲斗头部在机床上的找正。

4.1 实物基准与粘贴标志点

实物基准由23个定位点组成，其分布如图4所示。其中3个分布在铲齿顶部，4个分布在铲臂两侧面，12个分前后分布在铲斗头部前后两个主加工面，4个分布在铲斗头部竖直接合部。这23个定位点能够完全限制铲斗头部的6个自由度，并可相互参照保证对齐精度。

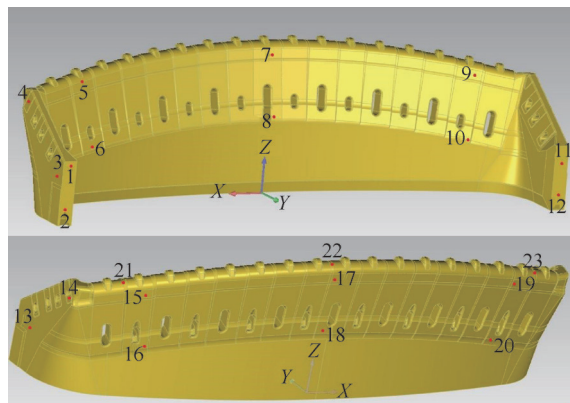


图4 23个定位点分布

在23个定位点位置，将标志点贴出十字形状（见图5），便于在随后的摄影测量系统的点云中识别，中心标志点即为定位点。在整个铲斗头部所有



图5 粘贴标志点

表面上粘贴标志点,各标志点间距 $\leq 150\text{mm}$,无序粘贴,不可规则排列。

4.2 摄影测量

采用摄影测量系统对铲斗头部进行拍摄,摄站位置围绕整个铲斗头部,使软件能够有效识别出所有的标志点(见图6)。由于工件属于薄板件,正反拼接无法直接在工件上完成,故将部分标志点安置在地面,使用地面进行转站,以完成正反拼接。

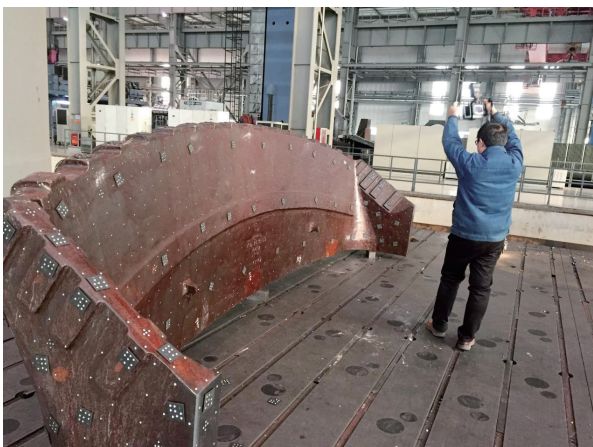


图6 摄影测量

拍摄完成后,将照片导入摄影测量软件中,开始对照片进行计算。计算完成后软件自动形成点云数据(见图7)。在删除杂点与无效点、经光束法平差后,得到高精度三维点云数据。在点云数据中找到23个定位点,记录其坐标值。此时23个定位点及点云均处在摄影测量坐标系中,该坐标系即检测坐标系。

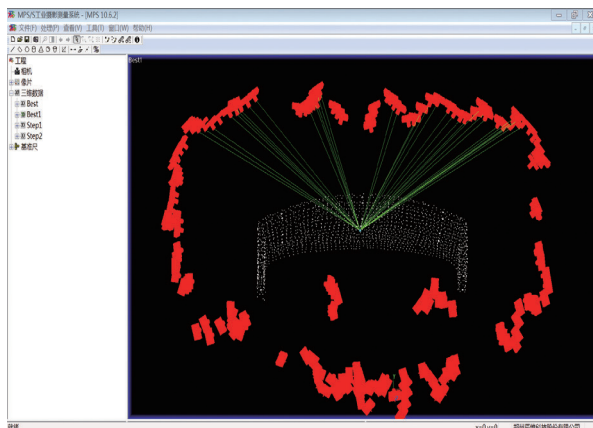


图7 点云数据

4.3 三维扫描

将摄影测量系统所计算的点云数据导入三维激光扫描仪软件中,扫描软件将以该点云为基础进行

面扫描。将扫描仪分辨率调整至 5mm ,该分辨率既可保证工件表面的有效识别与精度,也可提高扫描效率,减少数据缓存量,提高软件运行速度。使用三维激光扫描仪对铲斗头部的所有表面进行三维扫描(见图8),得到由三角面片形成的扫描模型,扫描软件可导出可用于三维分析和三维建模的.stl格式文件。

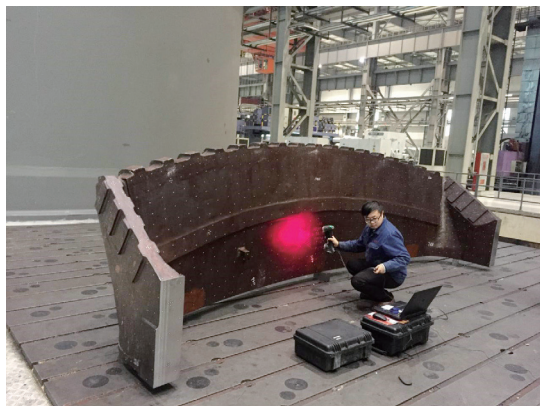


图8 三维扫描

4.4 统一坐标系

无论是扫描模型还是23个定位点,其坐标均来自于摄影测量系统,即检测坐标系。根据摄影测量系统的原理,其坐标系X轴与Y轴为摄影测量第一张照片的横纵轴,原点为照片中心点,故该坐标系位置是随机的,无法复现且无使用价值,需要将检测坐标系对齐至数控程序坐标系。

统一坐标系采用的软件为Geomagic Control,这是一款模型分析软件,可进行三维模型之间的比对分析。首先将扫描模型导入Geomagic Control软件中,然后在模型上创建特征点,将23个定位点坐标输入,使其成为扫描模型的子项目。然后将理论模型导入Geomagic Control软件中(见图9),该理论

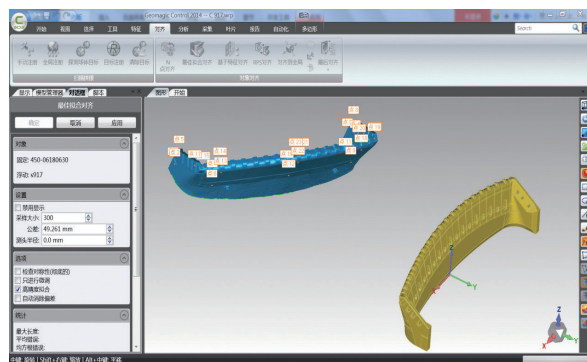


图9 导入模型

模型的坐标系为数控程序坐标系。使用最佳拟合功能，将两模型初步对齐后，使用手动对齐，微调扫描模型，使其满足设计与加工要求。完成调整后，摄影测量坐标系便不存在，扫描模型和23个定位点均统一至数控程序坐标系。

5 检测结果与数控加工

5.1 毛坯余量分析

在Geomagic Control软件中，对统一坐标系后的三维模型进行三维分析，可得到三维色谱图；通过色谱分析，可得到余量分布；通过点击建立锚点，可得到具体位置余量数值（见图10）。

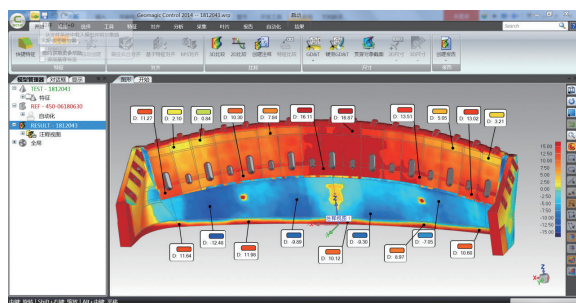


图10 余量分析

5.2 数控编程

由于扫描仪导出的格式是由三角面片组成的.stl格式的模型，该模型属于碎片化表面模型，在本案例中，其面片数量可达近千万，这种模型无法很好地在NX等三维设计软件中使用，因此需要将扫描模型转化为NURBS曲面。

将统一坐标后的扫描模型导入Geomagic Studio中，利用精确曲面功能，将扫描模型制作成.stp等格式的NURBS曲面模型。将制作的模型导入NX等三维编程软件中，即可进行数控加工编程等工作。

通过对模型进行模拟加工（见图11），可准确分析全部加工过程，跳过空刀，合理设置进给量，优化加工方案，提高加工效率。

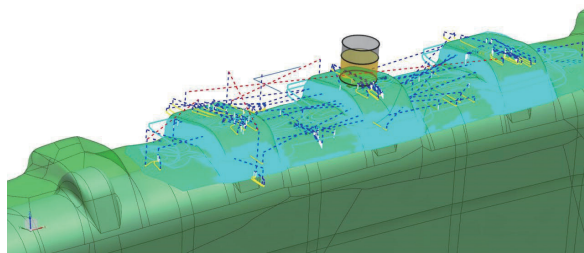


图11 模拟加工

5.3 机床找正与数控加工

统一坐标系完成后，将23个定位点坐标值导出，便得到23个定位点在数控程序坐标系中的坐标值。加工机床通过寻点刀头（见图12）对23个定位点进行定位，将工件准确摆放至机床工作台上，完成铲斗头部在数控程序坐标系下的复现。然后机床即可根据数控程序进行铣削加工（见图13）。

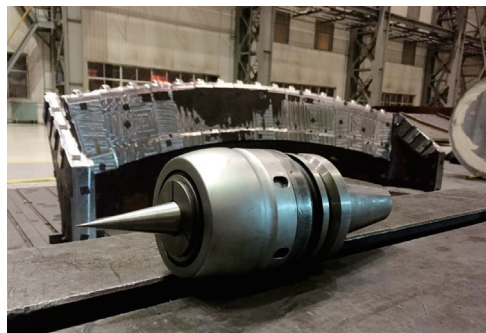


图12 寻点刀头



图13 铣削加工

6 结束语

该方案成功将三维扫描技术应用于机械加工中，有效解决了铲斗头部空刀、过切和无加工基准等问题，使加工过程变得可控且精确。在过去一年中，该型产品已加工20余件，整套流程更加连贯顺畅，加工后轮廓度 $<1\text{mm}$ 。检测不是目的，如何将检测技术应用于加工生产才是我们检测人员的最终追求。

参考文献：

- [1] 陈羽，李贝，蒋绍军，等．装载机铲斗满斗率测试中SPC方法的应用[J]．工程机械，2014，45（8）：13-19．
- [2] 黄桂平．数字近景工业摄影测量理论、方法与应用[M]．北京：科学出版社，2016．