

飞马 D20 无人机机载激光雷达在抽水蓄能电站大比例尺地形图测绘中的应用

姜丙波 柳忠伟 王增武 徐生望 邓勇
《中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司》

摘要:

常规无人机航空摄影测量技术由于光学影像难以获取植被深厚且茂密地区的地形地貌数据,造成成果质量,尤其是高程精度很难满足工程要求,而激光雷达通过获取海量三维点云数据,可以极大概率的穿透地表植被,经过分类能够提取高精度地表高程数据。本文以河南省三个抽水蓄能电站工程勘测为例,综合应用飞马无人机机载激光雷达系统与航拍正射影像的技术方法,充分发挥两种数据在地物判读和地形采集中的优势,大大减少了外业工作量。经过精度验证,成果满足相应规范要求,同时还能提供了 4D 产品。充分证明了飞马无人机机载激光雷达在抽水蓄能电站大比例尺地形图测绘中的优越性。

关键词:

无人机; 机载激光雷达; 植被; 抽水蓄能电站; 大比例尺成图

1 引言

抽水蓄能电站由于其项目特点: 植被茂密、通视条件差、山坡陡峭且基本没有道路可以通行,使用传统航空摄影测量和工程测量手段,均无法满足工程设计时间节点及精度的要求,以及近几年高新技术——无人机倾斜摄影技术难以穿透植被茂密和深厚地区获得真实的地形地貌数据^[1-2]。而机载激光雷达测量技术,在高精度三维空间信息的实时获取方面取得了重大突破,无人机机载激光技术作为一种主动遥感技术,相较于传统机载激光,具有便捷性,机动性,价格低廉等特点。

2 飞马无人机及载荷

由于抽水蓄能电站项目属于高海拔高山地形,地形起伏很大,作业工期很紧,影像地面分辨率要求优于 0.1 米,因此对无人机飞行平台提出了很高的性能要求,包括以下几点:

(1) 为了保证项目的顺利实施,以及设备安全,飞行平台应具备高可靠性,测区内高差至少在 800 米以上。

(2) 测区地形起伏很大,要保证整

个测区地面分辨率优于 0.1 米,飞行平台必须具备仿地飞行功能和避障功能。

(3) 测区内地物较少,植被茂盛,能做像片控制测量的地方只有景区内旅游线路以及居民地,因此飞行平台应具备高精度 GNSS 差分性能,在稀少像控甚至免像控情况下仍然能够满足精度要求。

(4) 由于工期紧张,飞行平台还应具备较高的安全性、较高的飞行效率、高度智能化、易组装和易操控等特点。

根据以上抽水蓄能电站项目的特点,项目组调研并选取了飞马 D20 型无人机作为飞行平台。通过在该平台搭载 DV-LiDAR20 模块作为任务载荷。

2.1 机载激光雷达扫描系统

机载三维激光雷达扫描测量(以下简称机载 LIDAR- Light Detection and Ranging)技术是继 GPS 以来在测绘遥感领域的又一场技术革命^[3]。LIDAR 是一种集激光、全球定位系统(GPS)和惯性导航系统(INS)三种技术于一身的系统,用于获得数据并生成精确的 DEM。这三种技术的结合,可以高度准确地定位激光束打在物体上的光斑。它是当今世界上摄影测量与遥感领域最先进

的机载 LIDAR 对地观测系统。不但可以用于无地面控制点或仅有少量地面控制点地区的航空遥感定位和影像获取,而且可实时得到穿透植被的海量地表大范围内目标点三维坐标,同时它也是目前唯一能测定森林覆盖地区地面高程的可行技术,可以快速、低成本、高精度地获取三维地形地貌、航空数码影像及其它方面的海量信息^[4]。

机载激光雷达测量系统主要由 3D 激光扫描仪(Scanner)、全球定位系统(GPS)、惯性导航系统(INS)、高分辨率的数码相机及扫描控制装置等组成^[5]。在免像控的情况下,通过获得的地表点云数据和数码影像可以制作 4D 产品(DOM、DEM、DRM、DLG)^[4]以及地表的真三维影像^[6]。



图 1 DV-LiDAR20 模块信息

2.2 飞马无人机 D20 及其无人机管家

飞马无人机 D20 将 LiDAR 和高精度 POS 设备进行模块化设计,并且 GNSS/IMU 一体化设计,最后经过高精度机械加工制作而成,整个飞行系统具有系统检校、飞行数据航带平差等工程化软硬件一体化解决方案。



图 2 飞马无人机 D20

飞马无人机管家地面站软件能够进行紧耦合点云轨迹解算,标准点云解算输出,支持海量点云组织管理和可视化,具有完整的点云数据后处理方案,并且支持无人机的仿地飞行。其具有以下特点:

- (1) 根据飞行平台及载荷全自动三维航线设计;
- (2) 地形跟随航线设计;
- (3) 开放航线自定义编辑;
- (4) 多传感器参数一站式设置;
- (5) 预估飞行参数;

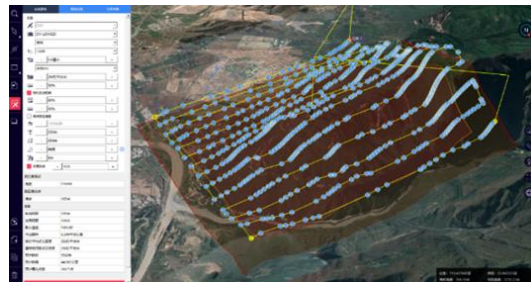


图 3 无人机管家仿地飞行

3 技术路线

基于无人机 LiDAR 测量系统的地形测量主要作业流程包括项目踏勘与策划、航线布设与外业航测(LiDAR 数据采集和影像获取)、地面控制测量、GPS 与 IMU 联合平差计算、点云数据处理、影像数据处理、DEM 和 DOM 生成、地物要素采集和地貌等高线数据生成、地形图编绘及精度检查等^[1],其流程见图 4。

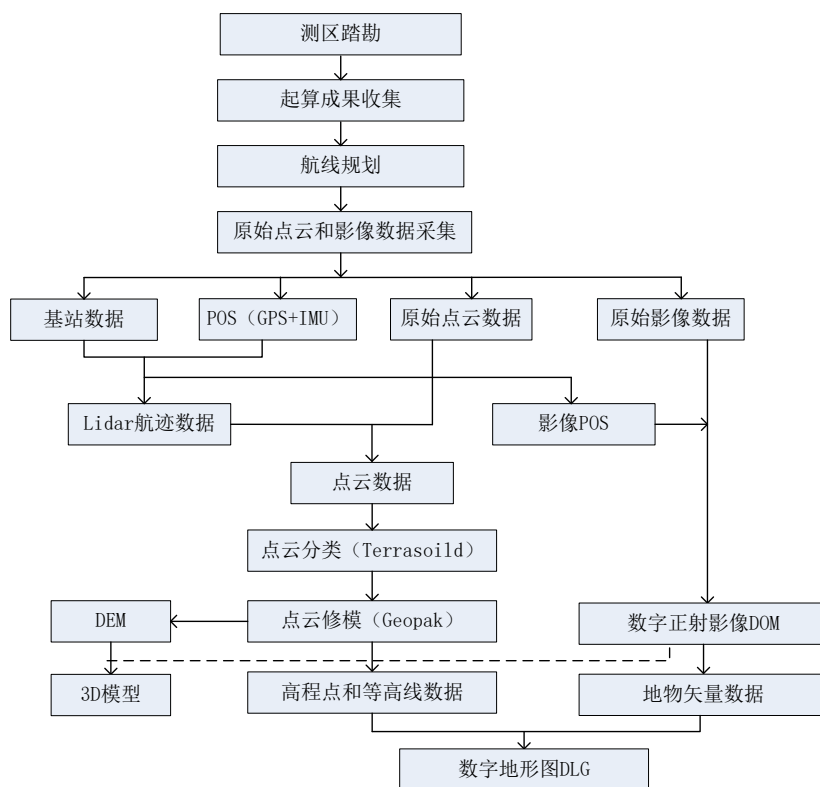


图 4 无人机机载雷达系统测绘地形图作业流程

3.1 数据采集

本文项目的数据采集采用飞马 LiDAR 生产方案，其为飞马 D20 飞行平台搭载 DV-LiDAR20（该系统将机载 LiDAR 测量系统和索尼微单相机高度集成，在采集激光点云数据的同时获取影像数据）进行点云数据、影像数据、POS 数据等原始数据的采集，同时采用中海达 F91GPS 接收机进行测量区域高程检查点和基站数据的采集，分别用来对获取的点云数据精度进行评价和后差分 POS 数据的解算。按照合同和规范的要求，地面分辨率优于 0.1m，由于本设备激光的对植被穿透率较弱等原因，考虑到无人机的续航能力和照片重叠率因素，相对航高 300 米，航向重叠度为 60%，旁向重叠度为 80%^[7-11]，采用编制的航摄参数计算软件计算出外业飞行参数。综合其他因素本次作业，填补了测区数据采集的空白，实现电站库区地形全覆盖测绘^[12]。

3.2 数据处理

内业主要对航摄获取的原始数据进行 POS 解算等预处理、激光点云分类等后处理

工作。

在飞马无人机管家中将基准站静态 GNSS 数据，以及飞行设备的 GNSS 数据、IMU 数据进行组合导航解算，得到航迹文件。解算完成后，查看处理精度报告，包括姿态、位置精度、IMU 处理状态、姿态、位置分离等，确认无误后输出航迹文件 [11-12]。

LiDAR 数据的处理主要分为 3 步：点云融合、坐标转换、点云精处理。3 个步骤分别在 IE、无人机管家、Terrasolid 软件中完成。LiDAR 原始数据记录脉冲发射角度、脉冲发射与返回的时间、脉冲返回强度、回波的次数等信息，在无人机管家加载激光原始数据 RXP 文件及航迹文件，设置系统检校参数、坐标变换矩阵，根据激光点反射率及距离进行粗滤波过滤噪点，并将其转换为 LAS 点云通用格式，最后在 Terrasolid 软件中进行点云精处理分类获取高精度地面点数据，如下图所示，激光获取了真实的地面数据。本文在此项目中为了确保点云精度，将扫描角度 120° 以外的角度进行滤波 [14]。采用 TerraSolid 进行点云质量检查，主要检查以下几点：

(1) 点云数据是否覆盖整个测区;
(2) 航带之间是否有重叠 (不小于 50%) ,是否有漏洞;

(3) 航带拼接误差是否满足后期处理需求(一般控制在 0.5 m 以内,大于 0.5 m 时,返回预处理重新解算);



图 5 点云剖面图

影像数据处理首先利用飞马无人机管家软件进行 POS 数据的精密解算,并采用 Pix4dMapper 软件或者飞马无人机管家进行处理并最终制作正射影像图,其技术流程比较常规常用,本文不作详述。

3.3 地形图编绘

在 AutoCAD 2010 平台上使用 CASS10.1 地形图编绘软件,调用绘图数据文件,将数据文件中的每个点展在图上。经分类后的地面点云文件数据密集、高度冗余,将数据输入南方 CASS 后按照相应比例尺的要求进行了抽稀处理。手动勾绘等高线,等高距设置为相应比例尺的要求。然后利用 Cass 加载正射影像数据进行平面矢量地物的绘制。利用成图系统将等高线地貌图和地物矢量图进行拼接,生成完整的符合要求的电站库区地形图。图内各要素及地物符号严格按图式规定进行绘制编辑。绘制和编辑工作完成后,清除所有定义后未经引用的线型、块、

层等,以使图形文件内存占用空间最小。

4 工程应用案例

4.1 项目概况

本项目位于河南省,共三个站点,分别为 A、B 和 C 地,面积分别为 18.27、13.57、8.90 平方公里,三个测区都是以高山地为主,地形十分复杂,高差都在 800 米以上,最高点海拔 1310 m,最低点为海拔 11m,测区植被茂盛,成图比例尺为 1:2000。

4.2 成果处理

按照方案的技术路线,利用机载激光设备采集了三个项目的点云数据、正射影像数据 DOM、数字高程模型 DEM、DLG 数据和 3D 模型数据,各个站点点云分类成果图如下图所示,并利用正射影像成果进行各个站点的数字地形图测制。

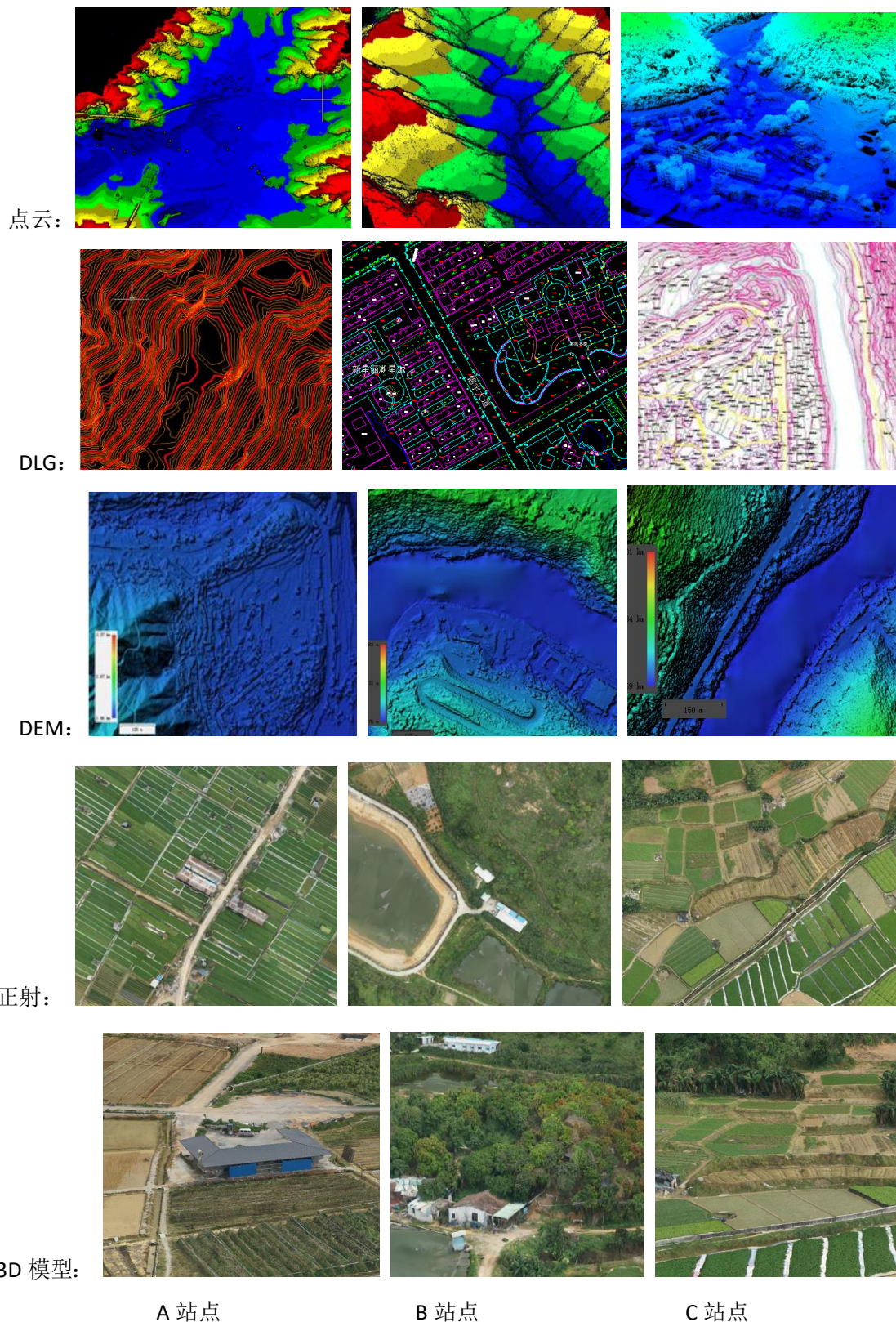


图 6 河南抽水蓄能站点成果图

4.3 质量检查

a.平面和高程精度检测本项目数学精度采用外业实测检测及内业大比例(1:2000)

地形图精度比对两种方法进行，外业设站进行了点位平面精度检测、高程精度检测。检

测成果见表 1，图 7 为检查点实测高程与点云内插高程的差值统计分布图。

表 1 地形图成果数据精度检查表

区间	驻马店	巩义	林州	中误差	粗差率%	合计
平面检查（点数）	812	912	735	±0.2m	0	2459
高程检查（点数）	792	708	613	±0.36m	0	2113

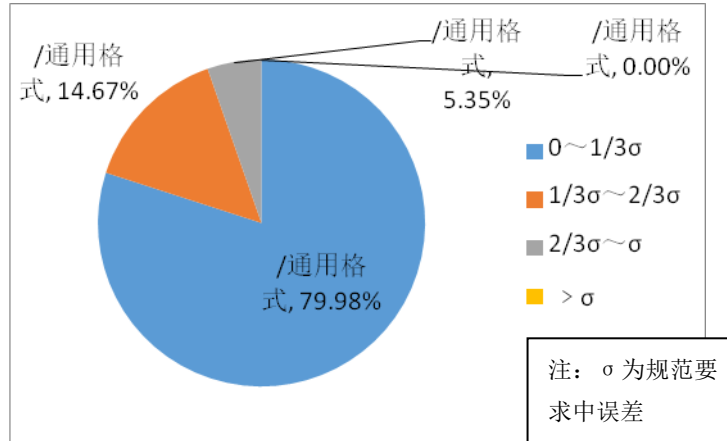


图 7 高程检查点与地形图量取高程值差值概率分布图

b.植被穿透性检查，表 1 中检验了高山区成图的高程和平面精度，这些区域大部分位于高密度植被覆盖区域。为了检验本项目激光扫描仪对植被的穿透情况，测试激光点

在不同植被覆盖下的高程精度，本项目利用测区均匀分布的实测高程数据进行高程检测。

表 2 山地植被高程检查表

	杂树	灌木	竹林	枣树林
说明	林下有稀疏植被	灌木和杂草混杂	竹林密集林下有植被	林下有稀疏植被
检查点数量/个	25	38	20	80
中误差/m	0.08	0.12	0.5	0.35

通过对图 2、图 4 和表 2 的分析可以得出结论：

① 一般情况下，成图精度完全满足相应 1:2000 比例尺的规范要求，甚至达到 1:1000 比例尺精度，或者更高。

② 点云分类的优劣是影响高程精度高低的主要因素。在表 2 茂密竹林低矮茂密植被下高程数据的精度误差明显差于其他

植被的情况，主要原因：1.在点云的后续分类处理上，可供选取的分类参照点少且选取困难；2.在植被茂密的地方，现有密度下的激光点云无法穿透。

5 结论

相对于传统大型机载机载 LiDAR 系统，飞马无人机 D20 机载的长射程 LiDAR 系统能全天候高精度、高机动性和低成本地获取地面三维数字数据，使其能够迅速进入寻常百姓家，具有广泛的应用前景^[13]。通过本项

目案例和精度分析可以得出如下结论：

1) 地面激光点的密度越高，分类精度就越高；反之，地面激光点的密度越低，精度就越低。提高地面激光点密度的主要手段是降低航高或提高航线重叠率，但是外业数据采集和处理工作量，应当根据地形地貌条件选择与测图比例相适应的航高。目前 LiDAR 能满足 1:2000 甚至 1:500 比例尺的精度要

求:

2) 考虑到茂密植被对激光的穿透性有一定影响, 相对航高一样的情况下, 植被越密集的地方, 地面上的激光点越少, 反之就越多, 因此在植被茂密的地方, 需要增加航线重叠率来增加点云密度, 尽可能保证点云穿透率以保证精度;

3) LiDAR 相对无人机数字航空摄影测量具有极大优势。它不需要布设像控点和大量的高程检查点, 极大减少了外业工作量, 无须空三加密, 制图速度快^[14];

4) 飞马无人机机载 LiDAR 在提供数

字地形图的基础上, 且能提供 4D 产品, 极大的丰富了测绘成果: 点云、数字地形图 (DLG) 数字正射影像 (DOM) 和三维模型 (3D 产品)^[15-16];

5) 飞马无人机机载 LiDAR 相对传统大型机载激光雷达具有方便快捷, 机动灵活, 本项目仅用时 2 个多月, 成本节约了 50%, 工期缩短了 50%, 验证了飞马无人机机载 LiDAR 的成图效率。

参考文献:

[1] 杨昆仑, 赵军平. 无人机 LiDAR 系统在大比例尺地形图测绘中的应用_杨昆仑[J]. 测绘技术装备, 2020, 22(2): 69-72.

[2] 朱雪峰. 基于机载激光雷达测量技术的铁路勘测方法[J]. 测绘通报, 2015, 465(12): 125-126.

[3] 赵新华, 陈富强. 机载 LiDAR 技术在高难度大比例尺数字测图中的优势[J]. 科技信息, 2012, 400(8): 430-431.

[4] 郝长春. 无人机载激光 LiDAR 在植被覆盖区大比例尺地形图测绘中的应用分析_郝长春[J]. 安徽建筑, 2019, 26(3): 166-168, 200.

[5] 赵一鸣, 李艳华, 商雅楠, 等. 激光雷达的应用及发展趋势[J]. 遥测遥控, 2014, 35(5): 4-22.

[6] 李淑琴. 机载激光雷达技术的数据处理与 4D 产品制作[J]. 全球定位系统, 2012, 37(2): 43-47.

[7] 岁有中, 张新霞. 机载激光雷达在矿山 1:2000 DEM 生产中的应用[J]. 地矿测绘, 2018, 34(2): 34-35, 38.

[8] 舒斯红. 不同载具下激光雷达在地形测量中的应用[J]. 低碳世界, 2018, 178(4): 44-45.

[9] 庞治国, 雷添杰, 曲伟, 等. 基于无人机载激光雷达的库区高精度 DEM 生成[J]. 电子测量技术, 2018, 41(9): 80-83.

[10] 范传辉, 曹久立, 吴成秋. 工程测绘中激光雷达测绘技术的应用探析[J]. 工程技术研究, 2018, 22(6): 77-78.

[11] 陈科. 机载激光雷达技术在水利水电工程中

的应用[J]. 珠江水运, 2018, 461(13): 18-19.

[12] 郭春海, 张英明, 丁忠明. 无人机机载 LiDAR 在沿海滩涂大比例尺地形图测绘中的应用 [J]. 测绘通报, 2019, 510(9): 155-158.

[13] 李英成, 文沃根, 王伟. 快速获取地面三维数据的 LiDAR 技术系统[J]. 测绘科学, 2002(4): 1, 35-38.

[14] 喻雄. 机载激光雷达在山区高速公路勘测中的应用[J]. 测绘通报, 2011, 407(2): 31-34.

[15] 李伟. 机载激光雷达辅助地形图绘制的实践 [J]. 测绘通报, 2019(S2): 130-133.

[16] 高文明. 多源遥感数据在道路勘测中的应用 [J]. 测绘通报, 2018, 492(3): 117-121.