

# 航空摄影测量在水利工程地形测绘中的实践与应用

孟宏立

河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司，天津，300221；

**摘要：**航空摄影测量技术在水利工程地形测绘领域具有关键意义。本文深入探讨其原理，涵盖中心投影几何关系及像片内外方位元素确定等内容。详细阐述技术流程，包括航空摄影、像片控制点布设与测量、像片处理、数字高程模型（DEM）与数字正射影像图（DOM）制作等环节。同时，深入研究其在水利工程不同阶段的应用，如规划设计中辅助选址与路线规划、施工阶段监测工程进度与质量、运行管理中助力设施维护与安全监测等。此外，对精度控制与质量保障措施进行全面剖析，从像片质量、控制点精度、数据处理精度等多方面提出有效方法，旨在为航空摄影测量技术在水利工程地形测绘中的广泛应用与技术提升提供理论支撑与实践指导。

**关键词：**航空摄影测量；水利工程；地形测绘；精度控制

**DOI：**10.69979/3060-8767.25.09.048

## 引言

水利工程建设对地形测绘数据的精度、完整性和时效性要求极高。传统地形测绘手段在面对大面积、复杂地形的水利工程时，暴露出效率低下、成本高昂且难以全面获取地形信息的弊端。航空摄影测量技术的出现，为水利工程地形测绘带来了革新性的解决方案。通过航空平台搭载摄影设备获取地面影像，再经一系列数据处理，能够快速、高效且高精度地生成地形测绘成果，在水利工程的各个环节发挥着不可或缺的作用。

## 1 航空摄影测量原理

航空摄影测量依托于航空飞行器对地表进行摄影成像，依据中心投影的几何学原理。在拍摄的那一刻，地面上的点、摄影机的中心点以及成像点共线，构成了中心投影的几何关系。通过精确测量像片的内方位元素（例如像主点坐标、摄影焦距等）和外方位元素（涵盖摄影中心的空间坐标与像片的姿态角度），结合同名像点的匹配技术，建立起像片平面与地面空间的数学转换模型，进而完成从像片坐标到地面实际坐标的转换计算，为地形测绘提供了坚实的理论基础。

## 2 航空摄影测量技术流程

### 2.1 航空摄影

依据水利工程测绘区域的规模、地形特征和精度需求，精心挑选航空摄影平台，如无人机、有人驾驶飞机等，并配备合适的摄影相机。确定飞行高度、航向重叠度和旁向重叠度等关键参数。飞行高度影响像片比例尺

和地面分辨率，需综合考虑；重叠度则确保相邻像片间有足够的公共区域以实现立体观测和数据拼接。在摄影作业时，密切关注气象条件，选择晴朗、少云、光线稳定的时段，减少大气折光和阴影对像片质量的不良影响。

### 2.2 像片控制点布设与测量

像片控制点是连接像片与地面实际坐标的关键环节。在水利工程测绘区域内，依据地形地貌和像片覆盖情况，按照特定的几何图形或均匀分布原则布设控制点。控制点应选取在地面特征明显、易于识别和测量的位置，如道路交叉点、建筑物拐角等。运用高精度的测量仪器，如GPS接收机或全站仪，精确测定控制点的平面坐标和高程信息，并做好详细记录与检核，确保控制点数据的准确性和可靠性。

### 2.3 像片处理

#### 2.3.1 像片纠正

由于航空摄影过程中飞机姿态变化和地形起伏，像片存在几何变形。利用像片的内方位元素和控制点数据，采用严密的数学纠正模型，如共线方程模型，对像片进行逐点纠正，消除像片倾斜、投影差等变形，使像片符合正射投影要求，为后续的拼接和测量工作提供基础。

#### 2.3.2 像片拼接与镶嵌

对纠正后的像片，依据同名像点的匹配算法进行拼接，将相邻像片无缝连接成一幅完整的影像图。在拼接过程中，通过色彩平衡、对比度调整等图像处理技术，消除拼接缝处的色调差异和影像错位，确保镶嵌后的影像图在视觉效果和几何精度上都能满足水利工程地形

测绘的要求。

## 2.4 数字高程模型（DEM）制作

### 2.4.1 特征点、线提取

从处理后的影像中，通过人工判读或自动提取算法，识别并提取地形的特征点（如山峰、山谷底部、鞍部等）和特征线（如山脊线、山谷线等）。这些特征信息是构建准确 DEM 的骨架，能够有效提高地形建模的精度和效率。

### 2.4.2 构建不规则三角网（TIN）

以提取的特征点、线为基础，采用 Delaunay 三角剖分等算法构建不规则三角网。TIN 能够灵活地适应地形起伏变化，通过三角形面片逼近地形表面，较好地保留地形的细节特征。

### 2.4.3 内插生成 DEM

在构建的 TIN 基础上，运用合适的内插算法，如线性内插、双线性内插或样条函数内插等，计算出每个规则格网点的高程值，从而生成数字高程模型。DEM 以栅格数据形式直观地反映了水利工程区域的地形起伏状况，是进行地形分析、坡度计算、土方量估算等工作的重要基础数据。

## 2.5 数字正射影像图（DOM）制作

基于纠正后的像片和生成的 DEM，根据正射投影原理，对像片进行逐像元的投影纠正。通过将像片上的像点根据其对应的地面高程进行投影变换，消除因地形起伏导致的像点位移，生成数字正射影像图。DOM 不仅有地图的几何精度，还保留了丰富的地物纹理信息，可直接作为水利工程规划设计的底图，以及用于土地利用现状调查、工程环境评估等工作。

## 3 航空摄影测量在水利工程中的应用

### 3.1 规划设计阶段

在水利工程规划初期，航空摄影测量提供的高分辨率 DOM 和精确的 DEM 数据能够全面展示工程区域的地貌特征、土地利用现状和水系分布等信息。水利工程师可以基于这些数据进行工程选址，分析不同选址方案的地形条件，如坡度、高差、汇水面积等，评估其建设和工程成本。例如，在水库选址时，可利用 DEM 数据确定库盆的地形特征，计算库容和淹没范围，结合 DOM 影像分析周边居民点、交通线路等情况，为移民安

置和工程配套设施规划提供依据。同时，对于水利枢纽工程中的输水渠道、堤防等线性工程，可通过 DOM 和 DEM 数据进行线路规划，优化线路走向，避开地形复杂和地质不良区域，减少工程建设难度和投资成本。

### 3.2 施工阶段

在工程施工过程中，航空摄影测量可定期进行，获取不同施工阶段的影像数据和地形信息。通过对比前后两期的 DEM 数据，可以精确计算出土石方开挖量、填方量和工程进度，及时发现施工中的超挖、欠挖等问题，为施工质量控制和工程进度管理提供有力支持。DOM 影像则可直观地反映施工现场的地物变化情况，如施工场地布置、临时设施搭建、材料堆放等，便于施工管理人员进行现场调度和资源调配。此外，利用航空摄影测量技术还可以对施工过程中的边坡稳定性、建筑物变形等进行监测，及时发现安全隐患并采取相应措施，保障施工安全。

### 3.3 运行管理阶段

水利工程建成后，航空摄影测量在运行管理中仍发挥着重要作用。通过定期的航空摄影监测，可以获取工程设施及其周边环境的现状信息，如水库大坝的外观形态、堤防的完整性、河道的冲淤变化等。将这些信息与工程设计数据进行对比分析，能够及时发现工程设施的损坏、老化和安全隐患，为工程的维护和修缮提供依据。例如，利用 DEM 数据可以监测水库大坝的沉降变形情况，通过分析不同时期的地形变化判断大坝是否存在不均匀沉降；DOM 影像可以直观地显示堤防表面的裂缝、破损以及河道内的障碍物等情况，便于及时进行修复和清理，确保水利工程的安全稳定运行。

## 4 精度控制与质量保障措施

### 4.1 像片质量控制

在航空摄影这一关键环节，严格遵循既定的摄影规范开展作业是确保像片质量的首要前提。操作人员必须细致地确认相机各项参数的精准设置，焦距的选择需依据测绘目标区域的范围与所需分辨率进行科学调适，光圈大小要根据光线条件和景深要求合理确定，快门速度则要在充分考量飞行速度、拍摄对象动态等因素的基础上精准设定。不仅如此，定期对相机进行专业校准与精心维护不可或缺，通过严格的校准流程，确保相机内部光学系统、传感器等核心部件始终处于最佳工作状态，

从而为稳定且高质量的成像提供坚实保障。在实际拍摄过程中，实施像片的实时预览机制，对拍摄成果进行初步质量检查。一旦察觉像片存在模糊现象，无论是因飞行抖动还是对焦不准所致；亦或是曝光过度或不足，致使影像亮度过高或过低而丢失细节；以及色彩失真，使地物颜色与实际情况偏差较大等问题，都应立即根据具体情况灵活调整摄影参数，若问题较为严重，则果断重新拍摄，坚决杜绝低质量像片进入后续处理流程。而在数据存储与传输阶段，采用具备高可靠性与稳定性的存储介质，如专业级的固态硬盘或大容量、高读写速度的磁带等，结合先进的数据传输协议，如高速光纤传输或加密无线传输技术，全方位防止像片数据在存储与传输过程中出现丢失或损坏的情况，确保数据的完整性与安全性。

## 4.2 控制点精度控制

像片控制点作为航空摄影测量成果精度的关键制约因素，其精度把控至关重要。在进行控制点布设时，需充分考量多方面因素。一方面，遵循均匀分布原则，确保控制点在测绘区域内广泛且均衡地分布，避免出现局部区域控制点稀疏而导致地形信息获取不准确的情况；另一方面，所选取的控制点应易于测量，优先考虑位于开阔地带、交通便利之处且具有明显地物特征的点，如大型道路交叉点、永久性建筑物的标志性拐角等，以便于测量人员能够高效且精准地开展测量工作；同时，这些控制点还需具有代表性，能够充分反映测绘区域的地形起伏、地貌变化等特征。为提高测量精度，可适当增加控制点数量，但也要兼顾成本因素，避免因控制点过于密集而导致人力、物力和时间成本的大幅攀升。在控制点测量实施过程中，采用高精度的测量仪器，如具有毫米级精度的 GPS 接收机或全站仪等先进设备，并针对每个控制点进行多次重复测量，通过取平均值的方式有效减小测量过程中因仪器误差、环境干扰等因素所产生的随机误差。此外，对所获取的控制点测量数据进行严格的检核和平差计算，运用专业的测量数据处理软件，依据严密的数学模型对数据进行系统分析与修正，确保控制点的平面坐标和高程精度严格符合航空摄影测量的高标准要求。值得注意的是，在像片处理环节中，若通过数据比对或模型分析发现控制点存在较大误差或异常情况，应迅速组织专业人员进行深入检查和精准修正，在必要时果断重新测量控制点，以维护整个航空摄

影测量成果的精度与可靠性。

## 4.3 数据处理精度控制

在像片处理、DEM 和 DOM 制作等核心数据处理进程中，软件的选用与参数设置是保障精度的核心要点。应优先择取在行业内广泛应用、技术成熟且稳定性强的摄影测量专业软件。结合水利工程规模大小、地形地貌复杂多样以及特定的精度规范等特点，对软件参数进行细致且合理的调配。如在像片纠正模型操作时，像片内方位元素与控制点坐标的录入必须精确到极致，毫厘之差都可能使整个模型产生巨大偏差。而在 TIN 构建与内插算法应用阶段，要依据地形的复杂程度灵活应变，针对简单地形与复杂山地分别选定适宜的算法参数，从而大幅提升地形建模的精准度。此外，务必强化对数据处理关键环节的质量把控。在像片纠正后，运用多种精度检测手段进行严格检查；针对 DEM 与 DOM 的接边处，采用专业的精度分析工具细致核验。借助与权威的高精度地形数据进行深度对比，或在水利工程实地设置多个检查点进行精准测量验证，全面评估数据处理的精度水平与可靠程度，一旦出现错误与偏差，立即精准定位并迅速纠正，为水利工程地形测绘提供坚实的数据支撑。

## 5 结语

综上所述，航空摄影测量技术在水利工程地形测绘中具有广泛的应用前景和重要的实践价值。通过深入理解其原理，严格遵循技术流程，加强精度控制和质量保障措施，能够为水利工程的规划、施工和运行管理提供高精度、高效率的地形测绘服务，推动水利工程建设朝着更加科学、精准和可持续的方向发展。

## 参考文献

- [1] 张朝帅. 航空摄影测量在水利工程地形测绘中的应用与分析 [J]. 科技与创新, 2022, (01) : 145-147+151.
- [2] 耿霄雯. 航空摄影测量在水利工程地形测绘中的应用 [J]. 居舍, 2020, (11) : 37.
- [3] 沈鹏. 航空摄影测量在水利工程地形测绘中的应用 [J]. 农家参谋, 2019, (18) : 170.
- [4] 秦立华. 航空摄影测量在水利工程地形测绘中的应用 [J]. 内蒙古水利, 2019, (05) : 62-63.
- [5] 连官河, 刘志军, 申建军. 航空摄影测量在水利工程地形测绘中的应用与分析 [J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2016, 37(01) : 71-74.