



# 目 录

|    |  |    |
|----|--|----|
| 一  | 工作简况.....  | 2  |
| 1  | 任务来源.....  | 2  |
| 2  | 目的意义.....  | 2  |
| 3  | 起草单位及主要起草人.....  | 3  |
| 4  | 主要工作过程.....  | 4  |
| 二  | 标准编制原则和确定主要内容的论据.....                                      | 6  |
| 1  | 标准制定的依据.....   | 6  |
| 2  | 标准制定的原则.....   | 7  |
| 三  | 主要试验(或验证)的分析、综述报告,技术经济论证及预期的经济效果....                       | 9  |
| 1  | 标准结构与内容.....   | 9  |
| 2  | 系列标准的构成和关系.....  | 10 |
| 3  | 术语.....  | 11 |
| 4  | 测图比例尺确定.....   | 11 |
| 5  | 图解像控点规范化与精度确定.....   | 14 |
| 6  | 像控点布设.....   | 15 |
| 7  | 像控点距影像边缘要求.....  | 17 |
| 8  | 单航线大小分析.....   | 18 |
| 9  | 区域网大小分析.....   | 18 |
| 10 | 单航线(或航带网)像控点布点.....  | 24 |
| 11 | 区域网像控点布点.....  | 26 |
| 12 | 像控点布设与成果误差.....  | 37 |
| 13 | 像控点测量.....   | 40 |
| 14 | 像控点成果记录与标定.....  | 43 |
| 四  | 采用国际标准和国外先进标准的程度及与国际、国外同类标准水平的对比(或与测试的国外样品、样机的有关数据对比)..... | 44 |
| 五  | 与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系.....                                | 44 |
| 六  | 重大分歧意见的处理经过和依据.....  | 44 |
| 七  | 标准作为强制性标准或推荐性标准的建议.....                                    | 45 |
| 八  | 贯彻标准的要求和措施建议.....  | 45 |
| 九  | 废止现行有关标准的建议.....   | 45 |
| 十  | 其他应予说明的事项.....   | 45 |

# 《数字摄影测量 控制测量规范》 编制说明

## 一 工作简况

### 1 任务来源

2020年12月24日，按照国标委发[2020]53号文《国家标准化委员会关于下达2020年第四批推荐性国家标准计划的通知》，国家标准化委员会正式批准《数字摄影测量 控制测量规范》国家标准计划项目立项，项目计划编号为20204659-T-466，计划周期为24个月。

本项任务由中华人民共和国自然资源部提出，由全国地理信息标准化技术委员会（SAC/TC230）归口，按计划将于2022年12月完成。

### 2 目的意义

航空技术的飞速发展以及全球卫星导航定位技术、数字航摄相机、内外业一体化等新型设备的出现和快速发展，对航空摄影测量内外业产生了巨大的影响，摄影测量由此进入了数字航空摄影测量时代，即从航空摄影、控制测量、空中三角测量到测绘成果生产的整个流程均基于数字影像进行，并且数据信息都是以数字的形式存在。

当前，数字航空摄影测量技术已经成熟，成为测绘地理信息成果生产的主流方法，在测绘、城市建设、国土和工程等领域得到了极为广泛的应用。因此，原有用于解析测绘时代地形图生产的航空摄影测量外业、内业规范已不适应当前需要。另一方面，行业标准CH/T 3006-2011《数字航空摄影测量 控制测量规范》虽然规定了控制测量阶段的技术要求，但是该标准作为行业标准应用领域有限，无法满足当前数字航空摄影测量跨行业、跨部门的应用需求。

同时该标准标龄已有 10 余年，当前数字航空摄影测量技术有了新的发展。因此，本文件需要根据当前数字航空摄影测量控制测量技术水平和发展现状，规定控制测量阶段生产作业的技术指标和要求，规范控制测量生产技术和作业要求，支撑数字航空摄影测量控制测量工作，优化生产、提高生产效率和成果质量，推进数字航空摄影测量技术在各行业、领域的广泛应用。

数字航空摄影测量生产作业按阶段可划分为航空摄影、控制测量、空中三角测量、测图与成果生产四个阶段。因此，数字航空摄影测量标准按这四个阶段划分，形成支撑生产作业的系列标准。与本文件配套使用的标准有 GB/T 27919《IMU/GPS 辅助航空摄影技术规范》、GB/T 27920.1《数字航空摄影规范 第 1 部分：框幅式数字航空摄影》、GB/T 27920.2《数字航空摄影规范 第 2 部分：推扫式数字航空摄影》、GB/T 23236《数字航空摄影测量 空中三角测量规范》、CH/T 3007.1—2011 数字航空摄影测量 测图规范 第 1 部分：1: 500 1: 1 000 1: 2 000 数字高程模型 数字正射影图 数字线划图、CH/T 3007.2—2011 数字航空摄影测量 测图规范 第 2 部分：1: 5 000 1: 10 000 数字高程模型 数字正射影图 数字线划图、CH/T 3007.3—2011 数字航空摄影测量 测图规范 第 3 部分：1: 25 000 1: 50 000 1: 100 000 数字高程模型 数字正射影图 数字线划图。本规范的内容与技术要求涵盖数字航空摄影测量控制测量阶段的基本要求、生产准备、像控点布设、像控点测量、控制成果记录与标定、质量控制、成果整理与上交要求。本文件作为数字航空摄影测量的系列标准之一，满足控制测量阶段对标准化的需要，并推动标准体系的完善，为空间数据获取与处理提供必要支撑。

### **3 起草单位及主要起草人**

#### **3.1 承担单位和协作单位**

承担单位（主编单位）：自然资源部测绘标准化研究所。

协作单位（参编单位）：自然资源部第二地形测量队、自然资

源部陕西测绘产品质量监督检验站、武汉大学、中国测绘科学研究院、自然资源部第一航测遥感院、自然资源部第一地形测量队、武汉市测绘研究院、中国市政工程中南设计研究总院、陕西天润科技有限公司。

### 3.2 主要起草人及其所做工作

主要起草人及其所做工作暂略。

## 4 主要工作过程

### 1) 立项启动

2020年，标准牵头起草单位向自然资源部提出国家标准《数字航空摄影测量 控制测量规范》立项建议，自然资源部同意申请立项国家标准；2020年3月开展标准研究工作；2020年3-7月搜集资料，分析数字航空摄影控制测量基础控制点布设和测量、像控点布设方法及技术发展情况等；2020年7月，通过国家标准化管理委员会组织的项目立项答辩；2020年7月31日，在西安召开编写讨论会，对控制测量技术发展现状、标准内容和关键技术指标进行了交流讨论；2020年9月24日，在西安召开标准编制工作启动会，成立标准编写组，确定了标准的内容、结构、分工和计划安排。明确了标准的定位、范围。会议认为本标准应用广泛，应当面向当前数字航空摄影测量控制测量技术现状，根据实际生产需求进行编制，并对后续的工作内容、分工和进度进行了安排。

2020年12月24日，国家标准化管理委员会下达2020年第四批推荐性国家标准计划的通知（国标委发[2020]53号）。本标准获批立项，并按照要求于2021年3月完成了实施方案编报工作。

### 2) 起草阶段

本标准起草采用分工协作的方式进行。2021年1月编写组按照启动会上各自的任务分工完成标准各部分的编写；2021年2月编写组对各部分进行合并，并按标准化要求对各部分之间不协调、不一致之处进行了处理，形成本标准讨论稿。2021年3月编写组部分成

员对标准讨论稿进行讨论，提出需要进一步分析当前数字航空摄影测量控制测量中区域网和布点要求，使标准技术指标和要求更加准确合理。

2021年8月编写组完成对相关资料的分析与研究，并根据研究结论对区域网和布点要求和指标进行了修改和完善，形成标准征求意见稿，2021年9月-2022年5月就标准征求意见稿进行调研，并在编写单位范围征求意见；2022年5月根据调研和意见修改形成本征求意见稿。

在起草阶段主要的工作包括：资料收集与分析，调研与研讨，具体如下：

#### **-资料收集与分析**

本文件制定过程中收集了与数字航空摄影测量相关技术资料，这些资料及使用状况如下：

a) 国内相关标准。本文件涉及测绘地理信息标准体系中相关数字航空摄影测量、GNSS测量、图式、成果、技术总结、技术设计等标准。这些标准都是本文件编制的重要依据和参考。因此，本文件制定中与相关数字航空摄影测量标准在范围和内容上进行了统一，即与前工序的航摄、以及后续工序的空中三角测量和测图标准进行了协调和衔接，共同构成支撑数字航空摄影测量生产作业的系列标准。另一方面，本文件作为生产技术标准需要在要求和技术指标方面按照成果、技术总结、技术设计标准要求。因此，本文件在相关技术规定和要求上引用了相关标准要求。

b) 国外资料。本文件编制中，还收集了国外的论文资料和一些标准规范。这些资料对于当前了解数字航空摄影测量技术发展、参数指标和生产应用现状起到了积极作用，对标准编制具有一定的借鉴和参考作用。

c) 国内其他标准、项目技术资料和论文。本文件编制中，还收集了一些国内相关领域的其他标准，相关测绘项目的技术资料和论文资料。这些资料反映了当前数字航空摄影测量控制测量的技术方法、指标、参数要求，是文件准编制的依据。编写组通过对这些标

准、项目技术资料 and 论文的分析、归纳和总结，提取出了共性和普适性的内容、要求和指标形成了本文件的主要内容。

### **-调研与研讨**

为提高标准的实用性，课题组先后赴山东、武汉、西安等地的相关单位进行调研，并且与陕西测绘地理信息局、山东省国土测绘院等有关单位的专家进行了多次交流和探讨，从作业流程、方案设计、像控点布设、像控点测量和质量控制等方面了解生产作业的要求。通过调研，形成了如下结论：

1) 目前，数字航空摄影测量仪器较多，所采用的模式也有差异。同时，POS 系统定位定姿精度也有差异，各阶段生产作业有差别。因此，总体而言作为国家标准标准内容应该概括一些，对一些必要的基本控制环节和要求进行规定。标准规定内容不宜过细、过于具体，以更好支撑新技术发展，适应更广泛应用需求，并提高生产作业效率；

2) 当前，数字航空摄影测量控制测量主要用于光束法区域网平差，单航线控制测量在一些领域也有使用；

3) 建议数字航空摄影测量控制测量适当放宽像控点间基线布设要求。当前各单位生产以传统像控布设要求为基础，针对各自地域特点进行试验验证，摸索像控布设要求，获得最佳布点方案。按照所反映的结果，即使面向同类数字航摄仪、相同地形类别和同一测图比例尺，不同单位在生产试验中获得的最佳布点方案也存在差异。所以，相关单位提出考虑到数字航空摄影测量测区地形地貌状况各有不同，航摄仪技术参数也有很大差异，定位定姿设备精度也各不相同。标准对控制点基线数规定不宜过严，建议给出原则指导和要求，给生产作业单位提供灵活性；

4) 现在 1:500、1:1 000 比例尺测图有时也采用数字航空摄影测量的方式，因此建议本标准将 1:500、1:1 000 比例尺测图纳入，即将测图比例尺范围约定在 1:500—1:50 000；

5) 建议对使用越来越多图解像控点进行规范。

## **二 标准编制原则和确定主要内容的论据**

### **1 标准制定的依据**

本标准以《中华人民共和国测绘法》为主要依据，参考和引用

了有关地形图分幅与编号标准、GNSS 标准、图式标准、质检标准、航摄标准、空三标准、技术总结标准、技术设计标准等国家和行业标准，包括：

- GB/T 13989 国家基本比例尺地形图分幅和编号
- GB/T 18314 全球定位系统（GPS）测量规范
- GB/T 20257.1 国家基本比例尺地图图式 第 1 部分：1:500  
1:1 000 1:2 000 地形图图式
- GB/T 24356 测绘成果质量检查与验收
- GB/T 27919 IMU/GPS 辅助航空摄影技术规范
- GB/T 27920.1 数字航空摄影规范 第 1 部分：框幅式数字航空摄影
- GB/T 27920.2 数字航空摄影规范 第 2 部分：推扫式数字航空摄影
- GB/T 39616 卫星导航定位基准站网络实时动态测量（RTK）规范
- CH/T 1001 测绘技术总结编写规定
- CH/T 1004 测绘技术设计规定

## 2 标准制定的原则

本标准编制遵循“规范性、系统性、科学性、实用性、通用性”原则。

1) 规范性原则。本标准按照国家标准编制的程序和要求执行。标准编写时按照 GB/T 1.1《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写规则》、GB/T 20000.3《标准化工作指南 第 3 部分：引用文件》、GB/T 20001.1《标准编写规则 第 1 部分 术语》、GB/T 20001.5《标准编写规则 第 5 部分 规范标准》等标准的要求进行，符合规范性要求。

2) 系统性原则。控制测量是数字航空摄影测量生产作业的重要工序。本标准作为数字航空摄影测量生产作业的系列标准的一部



分，编制时应充分考虑上下工序的衔接，所规定技术内容、要求与其它工序的规范紧密衔接。同时，本标准作为数字航空摄影测量系列标准的重要组成部分，应与已有的航空摄影标准、空中三角测量规范，同期制定的测图规范协调统一，与相应产品标准和质检标准保持一致。因此，本标准在编制中充分考虑相关标准之间的协调性和一致性，遵循系统性要求。

3) 科学性原则。本标准编制的目的是实现数字航空摄影测量控制测量以最优的方法进行、提高生产效率和成果质量，推进技术在各行业领域的广泛应用。因此，本标准的编制遵循科学性原则，标准要求、方法、指标等等的确定坚持了科学、合理、准确的原则，并客观、真实地反映出了当前的数字航空摄影测量控制测量的技术现状和水平。

4) 实用性原则。本标准针对数字航空摄影测量控制测量生产作业，具有较强的技术性特点。标准既应充分考虑能更好地指导和规范生产作业，又应保持技术的先进性和可靠性，使其具有较好的可操作性和推广性。因此，标准的编制遵循实用性原则，为数字航空摄影测量控制测量生产作业提供更好的标准支撑。

5) 通用性原则。数字航空摄影测量是当前测绘地理信息成果生产的主要方式和主流技术，在测绘生产中应用广泛。因此，本规范的编制遵循了通用性原则，不局限于或不倾向于某一或某些软件平台，以共性的技术要求为基础，以更好地兼容各种实际情况，确保本规范符合通用性要求。

### 3 范围说明

本标准规定了数字航空摄影测量控制测量的基本要求、准备工作、影像控制点布设要求、影像控制点测量的作业方法和技术要求、控制成果记录与标定、质量控制、成果整理与上交要求。

本标准适用于数字航空摄影测量方法生产基础地理信息数字成果 1:500、1:1 000、1:2 000、1:5 000、1:10 000、1:25 000、1:50 000 数字高程模型、数字正射影像图、数字线划图、数字表面

模型控制测量阶段的生产作业。

### 三 主要试验(或验证)的分析、综述报告,技术经济论证及预期的经济效果

#### 1 标准结构与内容

本文件以数字航空摄影测量控制测量生产作业内容和技术要求为框架展开,具体内容如下:

第1章为范围,对本文件规定的内容和适用范围进行了明确和限定。

第2章为规范性引用文件,对标准正文中引用到的标准进行了罗列。

第3章为术语与定义,对标准正文涉及到的重要术语进行统一定义说明。

第4章为缩略语,对标准正文涉及到的缩略语进行统一说明。

第5章为基本要求,规定了数学基础、基础控制点、像控点、航摄数据、仪器设备的要求。

第6章为准备工作,规定了各类资料收集、测区踏勘、资料分析和技术设计的要求。

第7章像控点布设,规定了像控点的布设方式和要求,包括像控点的布设方式、像控点目标条件、影像条件、区域网布点、单航线布点的方法和要求。同时对常规光束法区域网平差布点、POS辅助光束法区域网平差布点的要求、常规单航线平差布点、POS辅助单航线平差布点,以及推扫式航摄区域网布点进行了约定。

第8章像控点测量,规定了外业像控点和图解像控点测量。其中外业像控点测量规定了基本要求、平面位置测量方法及技术要求、高程测量方法及技术要求。

第9章控制成果记录与标定,规定了控制成果编号与成果表、控制点标定、控制点点之记要求。

第10章质量控制,规定了质量控制的基本要求、各个环节的过程质量控制的内容以及成果质量检查与验收的要求。

第 11 章成果整理与上交，规定了控制测量各类成果整理的要求和成果上交的内容。

附录 A 为资料性附录，给出了像控点成果表的示例。

附录 B 为资料性附录，给出了控制点点之记的示例。

## 2 系列标准的构成和关系

模拟与解析时代，航空摄影测量系列标准按作业方式分为航空摄影、航空摄影测量外业、航空摄影测量内业三部分，各个部分再按测图比例尺进一步划分，构成了支撑航空摄影测量测制国家基本比例尺地形图的系列标准。数字航空摄影测量时代，由于生产作业时，内外业各工序不再有清晰的界线，因此新的系列标准按生产流程分为航空摄影、控制测量、空中三角测量、测图与成果生产四个阶段的标准。各个阶段的标准再按不同技术和比例尺等进一步划分，形成基于数字航空摄影测量技术生产基础地理信息数字成果的系列标准。图 1 为新、旧航空摄影测量系列标准的对比。

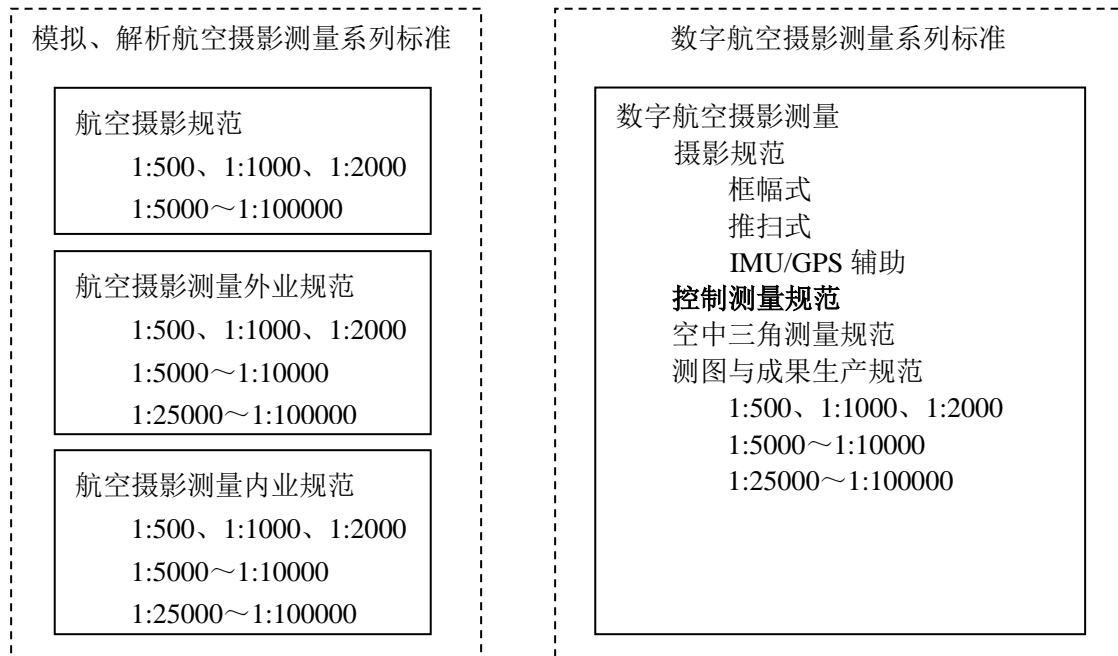


图 1 新、旧航空摄影测量系列标准结构

航天遥感测量系列标准按生产流程由控制测量、空中三角测量、测图与成果生产三个阶段的规范组成，与数字航空摄影测量标

准体系基本一致，图 2 为航天遥感测量系列标准和数字航空摄影测量系列标准的对比。

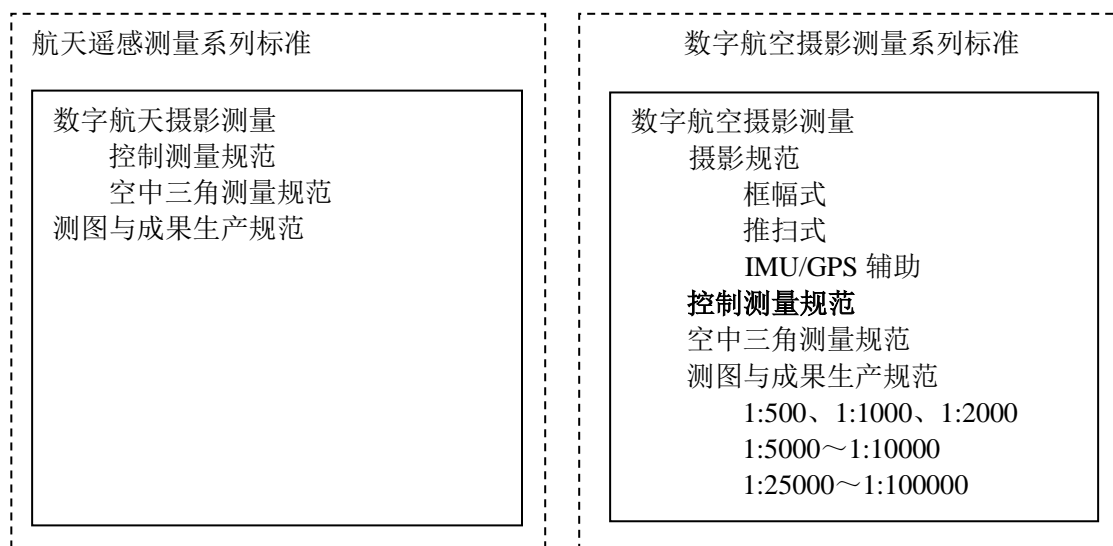


图 2 航天遥感测量与数字航空摄影测量系列标准结构

### 3 术语

课题启动会上，专家提出将区域网平差、常规光束法区域网平差、GNSS 辅助光束法区域网平差、POS 辅助光束法区域网平差作为术语纳入本文件。课题组讨论认为这些是数字航空摄影测量空中三角测量中的作业方法，应该在相应空中三角测量标准中给出定义与说明。

### 4 测图比例尺确定

#### 4.1 资料情况

本标准制定中，对采用常规数字航空摄影测量（低空航空摄影测量）生产测绘地理信息数据的比例尺进行了调研、分析和研究。根据所收集资料，采用常规数字航空摄影测量生产测绘地理信息数据比例尺情况见表 2。

表 2 数字航空摄影测量测图比例尺

| 资料来源                  | 比例尺                           |
|-----------------------|-------------------------------|
| GB50167-2014 工程摄影测量规范 | 1:500、1:1 000、1:2 000、1:5 000 |

表 2 (续) 数字航空摄影测量测图比例尺

| 资料来源   | 比例尺  |
|--|--|
| GB/T50026-XXXX 工程测量规范                          | 1 : 500、1 : 1 000、1 : 2 000、1 : 5 000  |
| GB/T 50537-2017 油气田工程测量标准                      | 1 : 500、1 : 1 000、1 : 2 000、1 : 5 000  |
| GB/T 50539-2017 油气输送管道工程测量规范                   | 1 : 2 000、1 : 5 000  |
| CJJ/T8-2011 城市测量规范                             | 1 : 500、1 : 1 000、1 : 2 000、1 : 5 000、1 : 10 000                                   |
| SL/T197-2013 水利水电工程测量规范                        | 1 : 500、1 : 1 000、1 : 2 000、1 : 5 000、1 : 10 000                                   |
| GB27920.1-2011 数字航空摄影规范 第 1 部分 框幅式数字航空摄影       | 1 : 500、1 : 1 000、1 : 2 000、1 : 5 000、1 : 10 000、1 : 25 000、1 : 50 000             |
| GB/T27920.2-2012 数字航空摄影规范 第 2 部分 推扫式数字航空摄影     | 1 : 500、1 : 1 000、1 : 2 000、1 : 5 000、1 : 10 000、1 : 25 000、1 : 50 000             |
| GB27919/T-2011 IMU/GNSS 辅助 航空摄影技术规范            | 1 : 500、1 : 1 000、1 : 2 000、1 : 5 000、1 : 10 000、1 : 25 000、1 : 50 000、1 : 100 000 |
| GB23236/T-2011 数字航空摄影测量 空中三角测量规范               | 1 : 500、1 : 1 000、1 : 2 000、1 : 5 000、1 : 10 000、1 : 25 000、1 : 50 000、1 : 100 000 |
| 商南测区 IMU/GNSS 辅助空三试验                           | 1 : 10 000   |
| 陕西 1 万更新 ADS80 影像外控布点方案试验                      | 1 : 10 000   |
| SWDC 数字航摄仪的界址点测量应用初探                           | 1 : 500  |
| 徕卡 ADS80 数字航空摄影测量系统在大范围矿区空三加密作业中的效率分析          | 1 : 2 000  |
| UCXP 数字航摄系统 DEM、DOM 产品制作和精度分析                  | 1 : 1 000  |
| 基于 UCX 数字航空影像的空三加密像控点布设方案探讨                    | 1 : 2 000  |
| UCX 数码影像在 1 : 2 000 大比例尺正射影像图生产中的应用            | 1 : 2 000  |
| 航空摄影测量法生产数字线划图的精度分析                            | 1 : 2 000  |
| DMCIII 数码航摄系统在 1 : 500 大比例测图中的应用               | 1 : 500  |
| 基于 IMU/GNSS 的航摄数据在 1 : 10000DLG 更新中像控点布设方案应用研究 | 1 : 10 000   |
| 现代数字摄影测量与 GIS 结合的数字城市建设应用研究                    | 1 : 500  |
| 空三加密优化控制网布设方案的实验研究                             | 1 : 10 000   |
| 基于 DMC 的航空摄影测量误差分析和质量控制方法研究                    | 1 : 500、1 : 1 000、1 : 2 000  |
| 正射影像图制作像控点布设方案研究                               | 1 : 2 000  |
| 基于国产 SWDC 航摄仪的稀少控制航测应用                         | 1 : 10 000   |

表 2（续） 数字航空摄影测量测图比例尺

| 资料来源                                     | 比例尺  |
|--|--|
| 航空摄影测量内外业一体化方法与流程研究                      | 1 : 2 000  |
| 机载 POS 辅助像控布设在 1 : 2 00 比例尺航摄成图中的精度分析与应用 | 1 : 2 000  |
| 基于 UCE 影像的像控网设计方案对空中三角 测量精度的影响           | 1 : 1 000  |
| 航空摄影测量技术在樊家圪台地形测量项目中的应用                  | 1 : 5 000  |
| 数字摄影测量测制大比例尺地形图的项目实践                     | 1 : 500、1 : 1 000、1 : 2 000、1 : 5 000、1 : 10 000       |
| 基于像素工厂的银川市 1 : 2000 航空摄影及正射影像图制作         | 1 : 2 000  |
| IMU/DGPS 辅助航空摄影测量直接定位及其精度分析              | 1 : 500  |
| ADS80 相机无控制点测量满足 1:2 000 成图研究            | 1 : 2 000  |
| ADS100 数据处理方法研究                          | 1: 500、1 : 1 000、1 : 2 000                             |
| A3 航空摄影测量系统及其工程试验与分析                     | 1 : 1 000、1 : 2 000                                    |
| 机载 GPS/BD 辅助光束法区域网平差在大比例尺测图中的应用          | 1 : 1 000  |
| GPS 辅助光束法区域网平差像控布点方案在大比例尺航摄成图中的关键技术应用研究  | 1 : 2 000  |
| 控制点分布对航摄仪区域网平差精度的影响                      | 1 : 2 000  |
| 深圳市 IMU /GPS 辅助区域网平差布点方案                 | 1 : 2 000  |
| 北斗辅助无人机航摄影像的空中三角测量                       | 1 : 500  |
| IMU/DGPS 辅助的大跨度航线区域网平差精度分析               | 1 : 5 000  |
| 基于已知定向参数影像的光束法区域网平差                      | 1 : 1 000  |
| 无地面控制 GPS 辅助光束法区域网平差                     | 1 : 5 000、1 : 10 000、1 : 25 000、1 : 50 000、1 : 100 000 |
| POS 数据在 1 : 2 000 比例尺航测成图中应用分析           | 1 : 2 000  |
| IMU/GPS 辅助航空摄影测量技术方法应用研究—以贵阳市航空摄影测量项目为例  | 1 : 500、1 : 1 000、1 : 2 000                            |
| 基于 Leica Xpro 平台的陇南地区 ADS80 数据加密流程       | 1 : 10 000   |
| POS 辅助航空摄影测量应用研究                         | 1 : 2 000  |

## 4.2 测图比例尺分析

从调研和资料分析看，对于国家基本比例尺基础地理信息数据，常规数字航空摄影测量方法主要用于生产 1 : 2 000、1 : 5 000、

1:10 000 这三种比例尺，1:500、1:1 000 两种比例尺数据也有很多采用常规数字航空摄影测量方法，1:25 000、1:50 000 两种比例尺数据有时也采用常规数字航空摄影测量法生产，1:100 000 数据生产极少采用常规数字航空摄影测量方法。其次，从目前测绘数据生产看，摄影测量与遥感方法生产数据比例尺范围通常为1:500~1:100 000，其中1:500~1:2 000 用低空航空摄影测量技术较多，1:10 000~1:100 000 用航天遥感技术较多。常规数字航空摄影测量多用于1:2 000~1:10 000 测图。此外，本标准作为常规数字航空摄影测量系列标准之一，需要与相应航空摄影、空中三角测量和测图阶段的标准配套使用，当前数字航空摄影测量系列标准将数据生产比例尺范围约定在1:500~1:100 000。另外，在标准调研和讨论会上，多数专家认为数字航空摄影测量标准的比例尺范围应为1:500~1:50 000。

因此，课题组综合考虑常规数字航空摄影测量技术生产应用情况、系列标准之间的协调性以及专家意见，将数据生产的比例尺范围确定在1:500~1:50 000 之间。

## 5 图解像控点规范化与精度确定

当前，在生产作业中为减少外业工作量，普遍使用了图解像控点进行空中三角测量。为规范图解像控点使用，保障成果质量，本标准对其进行了约定。虽然，图解像控点是通过人工目视判读或影像匹配获得，精度难以达到外业像控点的等级，但是人工目视判读或影像匹配获得的像控点数量可以远多于外业像控点，可以补偿像控点精度低对空中三角测量精度的影响。考虑到像控点精度是空中三角测量精度的基础，并且其精度应高于相应成图比例尺空中三角测量加密点精度。因此，本标准按照需求和生产实践将图解像控点平面位置精度约束确定在相应比例尺地物点平面位置中误差的1/3，高程精度为相应比例尺高程注记点高程中误差的1/3，经计算确定1:500、1:1 000、1:2 000、1:5 000、1:10 000、1:25

000、1:50 000 图解像控点平面位置和高程中误差应不大于表 3 的规定。

表 3 图解像控点平面位置和高程中误差 单位：米

| 成图比例尺    | 平面位置中误差 |       |       |       | 高程中误差      |             |      |      |
|----------|---------|-------|-------|-------|------------|-------------|------|------|
|          | 平地      | 丘陵地   | 山地    | 高山地   | 平地         | 丘陵地         | 山地   | 高山地  |
| 1:500    | 0.10    | 0.10  | 0.13  | 0.13  | 0.07       | 0.13 (0.07) | 0.15 | 0.23 |
| 1:1 000  | 0.175   | 0.175 | 0.25  | 0.25  | 0.15       | 0.15 (0.28) | 0.35 | 0.50 |
| 1:2 000  | 0.35    | 0.35  | 0.50  | 0.50  | 0.15(0.28) | 0.35        | 0.50 | 1.00 |
| 1:5 000  | 0.70    | 0.70  | 1.0   | 1.0   | 0.15(0.28) | 0.35        | 0.80 | 1.20 |
| 1:10 000 | 1.75    | 1.75  | 2.50  | 2.50  | 0.30       | 1.00        | 2.00 | 2.50 |
| 1:25 000 | 3.50    | 3.50  | 5.00  | 5.00  | 0.30       | 1.00        | 2.00 | 3.00 |
| 1:50 000 | 8.75    | 8.75  | 12.50 | 12.50 | 1.00       | 1.50        | 2.00 | 3.50 |

## 6 像控点布设

### 6.1 资料情况

数字航空摄影测量控制测量是为了满足影像定向和空中三角测量而布设和测量的高精度平面和/或高程控制点。像控点的布设由空中三角测量模型、平差技术和精度要求决定。空中三角测量按所采用的数学模型和平差单元分为航带法、独立模型法、光束法，按平差区域的大小分为单模型平差、单航线平差和区域网平差。当前，航空摄影测量像控点布设方法资料见表 4。

表 4 数字航空摄影测量 像控点布设方式

| 资料来源                         | 像控点布设方式   |
|------------------------------|---|
| GB50167-2014 工程摄影测量规范        | 1) 全野外布设;<br>2) 单航带布设; 有/无 POS 辅助;<br>3) 区域网布设: 有/无 POS 辅助。 |
| GB/T50026-XXXX 工程测量规范(征求意见稿) | 1) 航线网布点;<br>2) 区域网布点。                                      |
| GB/T 50537-2017 油气田工程测量标准    | 1) 全野外布点;<br>2) 航线网布点: 有/无 POS 辅助;<br>3) 区域网布点: 有/无 POS 辅助。 |
| GB/T 50539-2017 油气输送管道工程测量规范 | 1) 全野外布点;<br>2) 航线网布点: 有/无 POS 辅助。                          |
| CJJ/T8-2011 城市测量规范           | 1) 全野外布设;<br>2) 区域网布设: 航带网布设、无/POS 辅助。                      |
| GB39612/T-2020 低空数字航摄与数据处理   | 1) 区域网布设;   |



| 资料来源  | 像控点布设方式   |
|---|---|
| 规范  | 2) 航线网布设。   |
| CH/T3004-XXXX 低空数字航空摄影测量外业规范 (报批稿)            | 1) 区域网布设: 有/无 POS 辅助;<br>2) 单航线布设;<br>3) 全野外布点。             |
| SL197-2013 水利水电工程测量规范                         | 1) 全野外布点;<br>2) 区域网布点: 无/GNSS 辅助/IMU/DGNSS 辅助;<br>3) 单航线布点。 |
| 商南测区 IMU/GNSS 辅助空三试验                          | 区域网布设。  |
| 陕西 1 万更新 ADS80 影像外控布点方案试验                     | 区域网布设。  |
| SWDC 数字航摄仪的界址点测量应用初探                          | 区域网布设。  |
| 徕卡 ADS80 数字航空摄影测量系统在大范围矿区空三加密作业中的效率分析         | 区域网布设。  |
| UCXP 数字航摄系统 DEM、DOM 产品制作和精度分析                 | 区域网布设。  |
| 基于 UCX 数字航空影像的空三加密像控点布设方案探讨                   | 区域网布设。  |
| UCX 数码影像在 1: 2 000 大比例尺正射影像图生产中的应用            | 区域网布设。  |
| 航空摄影测量法生产数字线划图的精度分析                           | 区域网布设。  |
| DMCIII 数码航摄系统在 1: 500 大比例测图中的应用               | 区域网布设。  |
| 基于 IMU/GNSS 的航摄数据在 1: 10000DLG 更新中像控点布设方案应用研究 | 区域网布设。  |
| 现代数字摄影测量与 GIS 结合的数字城市建设应用研究                   | 区域网布设。  |
| 空三加密优化控制网布设方案的实验研究                            | 区域网布设。  |
| 基于 DMC 的航空摄影测量误差分析和质量控制方法研究                   | 1) 航带网布设 (单航线布设);<br>2) 区域网布设。                              |
| IMU/GPS 辅助航空摄影测量技术方法应用研究—以贵阳市航空摄影测量项目为例       | 区域网布设。  |
| 基于 Leica Xpro 平台的陇南地区 ADS80 数据加密流程            | 区域网布设。  |
| POS 辅助航空摄影测量应用研究                              | 区域网布设。  |

## 6.2 像控点布设方法分析

从所收集资料可以看出, 当前作业效率低、精度又难以保证的独立模型法平差在数字航空摄影测量时代已经不再使用, 对应的全野外布点法亦不再使用。单航线 (或航带网) 由于适合带状数据生产的原因, 在公路、铁路等工程测图领域有广泛的应用, 以满足交通工程领域的大比例尺测图。采用基于光束法的区域网平差由于平

差理论最严密，理论精度最高，是目前应用最广泛的平差方法，现在数字航空摄影测量空中三角测量基本都是采用光束法区域网平差。

因此，为了实现最佳效益，提高标准的技术先进性和实用性，本文件像控点布设方式规定按单航线和区域网空中三角测量数学模型和平差单元要求进行。

## 7 像控点距影像边缘要求

### 7.1 资料情况

在光学胶片航摄时代，由于航摄仪像幅大，造成像片边缘的变形较大，为了保证空中三角测量精度，对像控点距像片边缘有严格的要求。但是，数字航空摄影测量时代，航摄仪镜头较小，且影像为多镜头影像拼接而成，像控点距影像边缘对空中三角测量精度是否有很大影响，应该如何规定，本标准编制时对此进行分析。当前，数字航空摄影像控点距影像边缘要求资料情况见表 5。

表 5 数字航空摄影测量 像控点位置

| 资料来源   | 像控点位置  |
|--|--|
| GB50167-2014 工程摄影测量规范                          | 像片控制点距数字影像边缘的距离不应小于 1mm。   |
| GB/T50026-XXXX 工程测量规范(征求意见稿)                   | 像片控制点距数字影像边缘的距离不应小于 1mm。   |
| 基于 DMC 的航空摄影测量误差分析和质量控制方法研究                    | 像控点布点位置除满足规范其他条件外，航向距像片边缘不应小于 1.5mm，旁向距像片边缘不应小于 3.0mm。                   |
| CJJ/T8-2011 城市测量规范                             | 1) 像控点距像片边缘的距离不应小于 0.5 cm (数码像片) ;<br>2) 位于自由图边的像控点，应布设在离图廓线 4mm 以外。     |
| CH/T3004-XXXX 低空数字航空摄影测量外业规范 (报批稿)             | 像片控制点应选在像片旁向重叠中线附近，尽量远离像片边缘。   |
| SL/T197-2013 水利水电工程测量规范                        | 像控点距像片边缘的距离不应小于 0.1 cm 或 50 像素   |
| 基于 UCX 数字航空影像的空三加密像控点布设方案探讨                    | 数字摄影测量相机镜头较小，影像边缘变形也很小，可不考虑对影像边缘的严格规定，即外业像控点可布设在影像的边缘或靠近边缘位置，不会影响空三加密成果。 |
| 基于 IMU/GNSS 的航摄数据在 1 : 10000DLG 更新中像控点布设方案应用研究 | 自由图边像控点的布设要满足成图外扩 200m 要求  |

## 7.2 像控点在距影像边缘要求分析

从分析可知，由于数字航空摄影测量影像的边缘变形不大。像控点布设在影像的边缘或靠近边缘的位置，可以正常使用。根据当前资料分析结果和生产单位的经验，像控点距数字影像边缘的距离不小于 1mm 是可以的。同时，像控点宜布设在相邻影像重叠范围内的同一目标点上，如布设在航向及旁向六片或五片重叠范围内，可以增加重复观测条件，提高平差精度。

## 8 单航线大小分析

对在相同像控条件下，单航线长度（基线数）对空中三角测量结果的影响，从资料看对于无 POS 辅助数字航空摄影，由于像控点一般是按按一定基线间隔均匀布设在标准点位处，单航线网长度对平面、高程控制结果影响不大。如果是 POS 辅助数字航空摄影，由于 POS 定位精度较高，一般在航线网两端各布设 2 个平高点，中间 1 个高程点，其平面、高程精度可以满足相关要求，所以，单航线长度不需要明确规定。

## 9 区域网大小分析

由于相同布点方案下，区域网大小与形状对空中三角测量结果有影响。一般来说，采用相同布点方案时空三角测量的精度会随着区域网的增大而降低。同时，区域网的规则性也会影响空中三角测量精度。因此，需要分析区域网范围与形状，对空中三角测量平面、高程精度影响的程度，进而约定区域网的大小和形状。

### 9.1 框幅式无 POS 辅助航空摄影测量

#### 9.1.1 资料情况

框幅式无 POS 辅助数字航空摄影测量区域网大小、形状资料情况见表 6。

表 6 框幅式无 POS 辅助数字航空摄影测量区域网大小与形状

| 资料来源                      | 区域网大小与形状   |
|---------------------------|--|
| GB/T 50537-2017 油气田工程测量标准 | 1) 区域网应依据成图比例尺、地面分辨率、测区地形特点、航摄分区的划分、测区形状等情况全面考虑； |

| 资料来源                                 | 区域网大小与形状  |
|--------------------------------------|---|
|                                      | 2) 区域网宜按图廓线整齐划分, 亦可根据航摄分区、地形条件等情况划分;<br>3) 区域网的图形应呈方形或矩形。   |
| GB/T 50539-2017 油气输送管道工程测量规范         | 区域网划分主要依据立体像对间连接条件因素确定, 存在连接条件的立体像对应规划在一个区域网内, 一般不进行分区作业。不存在连接条件或在海部拼接的立体像对独立分区。  |
| CJJ/T8-2011 城市测量规范                   | 无 POS 辅助时区域网航线数 $\leq 12$ ; 基线数 $\leq 32$ 。   |
| GB39612/T-2020 低空数字航摄与数据处理规范         | 1) 区域网划分应依据成图比例尺、地面分辨率、测区地形特点、航摄分区、测区形状等情况全面考虑;<br>2) 区域网的图形应尽可能呈矩形。以满足空中三角测量精度要求为原则。   |
| CH/T 3004-XXXX 低空数字航空摄影测量外业规范 (报批稿)  | 1) 区域的划分应依据成图比例尺、地面分辨率、测区地形特点、航摄分区、测区形状等情况全面考虑;<br>2) 区域网的图形应尽可能呈矩形。  |
| SL197-2013 水利水电工程测量规范                | 1) 无定位辅助时区域网大小应依据航摄分区、成图精度、航摄资料条件、航线及图幅分布、地形情况、系统误差处理等因素确定;<br>2) 区域网划分应依据航摄分区、航线及图幅分布、地形情况、测区形状等情况;<br>3) 区域网的图形宜呈矩形, 当区域网不规则时可采用不规则区域网布点。<br>4) 避免区域网首末航线存在航线结合的情况;<br>5) 区域网不应包含影像重叠不符合要求的航线和像对, 不应包括大片云影和阴影的立体相对;<br>6) 不同精度图幅划在同区域网时, 应满足精度高的要求。 |
| 基于 UCX 数字航空影像的空三加密像控点布设方案探讨          | 1:2 000 测图 8 条航线, 32 条基线。   |
| 现代数字摄影测量与 GIS 结合的数字城市建设应用研究          | 1:5 000 测图航线数 $\leq 4$ , 基线数 $\leq 6$ 。   |
| 基于 DMC 的航空摄影测量误差分析和质量控制方法研究 (克拉玛依测区) | 1:500、1:2 000 测图 6 条航线, 12 条基线。   |
| 基于 DMC 的航空摄影测量误差分析和质量控制方法研究 (汕头测区)   | 1:1 000 测图, 航线数 $\leq 5$ 条, 基线数 $\leq 12$ 条。  |
| 基于 DMC 的航空摄影测量误差分析和质量控制方法研究 (清远测区)   | 1:2 000 测图, 航线数 24、15 条, 基线数约 61 条。   |
| 基于 DMC 的航空摄影测量误差分析和质量控制方法研究 (登封测区)   | 1:1 000 测图, 航线数 12 条, 基线数约 33 条。  |
| 基于 DMC 的航空摄影测量误差分析和质量控制方法研究          | 1:500、1:1 000、1:2 000 测图航线数为 8 条, 每条航线模型数为 32-48 条。   |
| 空三加密优化控制网布设方案的实验研究                   | 1:10 000 测图航线数 9, 基线数约为 22。   |
| 正射影像图制作像控点布设方案研究与实践探索 (安徽潜山测区)       | 7 条航线, 基线数约为 40。  |
| 基于 UCE 影像的像控网设计方案对空中三                | 1:1 000 测图航线数为 12 条, 基线数 46 条。  |

| 资料来源               | 区域网大小与形状                                 |
|--------------------|--|
| 角测量精度的影响           |  |
| DMC 航摄影像外业像控布点实验研究 | 丘陵地 1 : 5 000 测图航线数为 5 条, 15 条基线。        |
| DMC 在平坦地区数字航测中的应用  | 平地 1 : 5 00、1 : 1 000 测图航线数 8 条, 32 条基线。 |

### 9.1.2 资料分析

从以上资料可以看出,框幅式无 POS 辅助数字航空摄影测量对区域网的大小和形状认识如下:

1) 多数标准对区域网的大小和形状只给出原则性要求,而未有明确限定。例如“区域网划分应依据成图比例尺、地面分辨率、测区地形特点、航摄分区的划分、测区形状等情况全面考虑”。只有 CJJ/T8-2011《城市测量规范》给出了为航线数 $\leq 12$ 、基线数 $\leq 32$ 的规定;

2) 多数认为“区域网的图形应呈方形或矩形,但是由于测区的复杂性亦可采用不规则区域网”;

3) 课题讨论中多数专家则认为“目前区域网大小主要受计算机运算能力的约束。当网较大时,影像数据量势必增加,将对空三加密运算速度产生影响。但是,当前技术在飞速发展,计算机运算能力日益提高,其约束已不那么重要。因此,标准对区域网大小的规定不宜过于严格”。

4) 一些研究认为区域网大小以 8 条航线,每条航线 32-48 模型为宜。但是,数字航空摄影测量控制测量生产案例中也有 24 条航线,60 条以上基线的大网。

5) 一些研究认为区域网内航线数和模型数按偶数配置,在分配像控点时可保持间隔均匀,实现了误差控制均匀,消除区域网模型的系统误差;

因此,当前对框幅式无 POS 辅助数字航空摄影测量区域网大小的认识是“受测图精度、测图比例尺、地面分辨率、测区地形特点、航摄分区划分、测区形状、像控点精度,以及空三加密计算机运算能力等因素影响”。区域网大小没有统一认识,因此国家标准可以做原则约定,但不宜给出明确要求。区域网大小宜在技术设计中根

据实际状况确定。另一方面，关于区域网形状，多数标准、生产技术和专家认为方形或矩形最有利，但是因测区的复杂性亦可设计为不规则网。

## 9.2 框幅式 POS 辅助航空摄影测量

### 9.2.1 资料情况

框幅式 POS 辅助数字航空摄影测量区域网的大小情况见表 7。

表 7 框幅式 POS 辅助航空摄影测量区域网大小

| 资料来源                                    | 区域网大小   |
|---|---|
| CJJ/T8-2011 城市测量规范                      | POS 辅助区域网的大小可不作硬性规定。  |
| SL197-2013 水利水电工程测量规范                   | 1) GNSS 辅助时区域网大小以满足加密精度要求为原则，并计算出航向不大于 30，旁向不大于 18；<br>2) POSS 辅助时区域网大小以能满足加密精度要求为原则，并计算出航向不大于 40，旁向不大于 20。 |
| GB27919-2011 IMU/GNSS 辅助航空摄影技术规范        | 1) 航线数 2，基线数 $\geq 10$ ；<br>2) 航线数 4，基线数 $\geq 6$ 。   |
| 商南测区 IMU/GNSS 辅助空三试验                    | 1 : 10 000 测图区域网为 64、32、16 幅地形图。  |
| SWDC 数字航摄仪的界址点测量应用初探                    | 1 : 500 测图区域网为 16 条航线。  |
| UCXP 数字航摄系统 DEM、DOM 产品制作和精度分析           | 1 : 1 000 测图区域网为 8-10 条航线，20-30 条基线。  |
| UCX 数码影像在 1:2 000 大比例尺正射影像图生产中的应用       | 1 : 2 000 测图区域网为 11 条航线，40 条基线。   |
| DMCIII 数码航摄系统在 1 : 500 大比例测图中的应用        | 1 : 500 测图区域网为 15 条航线。  |
| 无人机数码影像外业像控点布点方案探讨                      | 1 : 2 000 测图区域网为 8 条航线，31 条基线。  |
| 基于 UCE 影像的像控网设计方案对空中三角测量精度的影响           | 1 : 1 000 测图区域网为 12 条航线，46 条基线。   |
| 机载 POS 辅助像控布设在 1:2 000 比例尺航摄成图中的应用      | 1) 1 : 2 000 : 航线数为 8 条，87 条基线；<br>2) 1 : 2 000 : 800km <sup>2</sup> -1200km <sup>2</sup> 。                 |
| 基于国产 SWDC 航摄仪的稀少控制航测应用                  | 丘陵、山地 1 : 10 000 : 航线数为 14 条，50 条基线。  |
| CORS 技术在航测外业控制测量中的应用研究                  | 丘陵 12 条航线，40 条基线。   |
| 机载 GPS/BD 辅助光束法区域网平差在大比例尺测图中的应用         | 丘陵 1 : 1 000 测图区域网为航线数为 10-20 条。  |
| GPS 辅助光束法区域网平差像控布点方案在大比例尺航摄成图中的关键技术应用研究 | 1) 丘陵 1 : 2 000 : 12 条航线，60-100 条基线；<br>2) 丘陵 1 : 2 000 : 15 条航线，大于 60 条基线。                                 |
| 深圳市 IMU /GPS 辅助区域网平差布点方案                | 1) 丘陵 1 : 2 000 : 4 条航线，27 条基线；<br>2) 平地 1 : 2 000 : 4 条航线，24 条基线；<br>3) 山地 1 : 2 000 : 4 条航线，24 条基线；       |

| 资料来源                                    | 区域网大小                                   |
|---|---|
|   | 4) 高山地 1 : 2 000 : 4 条航线, 24 条基线。       |
| GPS 辅助的构架航线区域网平差精度分析                    | 10 条航线, 23 条基线。                         |
| IMU/DGPS 辅助的大跨度航线区域网平差精度分析              | 1 : 5 000 测图区域网为 5 条航线, 80 条左右基线。       |
| POS 数据在 1 : 2 000 比例尺航测成图中应用分析          | 平地 1:2 000 测图区域网 6 条航线, 17 条左右基线。       |
| IMU/GPS 辅助航空摄影测量技术方法应用研究—以贵阳市航空摄影测量项目为例 | 1 : 1 000、1 : 2 000 测图区域网 6 条航线 60 条基线。 |
| POS 辅助航空摄影测量应用研究                        | 1 : 2 000 测图区域网为 14 条航线, 34 条基线。        |

## 9.2.2 资料分析

从资料情况可以看出,框幅式 POS 辅助航空摄影区域网大小对空中三角测量结果影响不大。生产作业中所设计的区域网大小差别很大。CJJ/T8-2011、GB50167-2014 等标准对区域网大小不作规定,SL197-2013 规定为航线数不大于 20 条,基线数不大于 39 条。其次,有研究认为区域网大小一般为 8-10 条航线,平均每条航线上像片数为航线条数的 2.5-3 倍,即 20-30 条基线。另外,也有研究认为 4-8 条航线,10-20 条基线的区域网较易控制,但是也存在 15 条航线,近 100 条基线的大网。另外,一些学者研究认为原始 POS 精度对区域网平差结果影响较大,如果原始 POS 精度较高,即使没有地面控制,POS 辅助的航空摄影进行自由区域网平差依然可以得到较高的测量精度。

因此,框幅式 POS 辅助数字航空摄影测量区域网大小由测区地形特点、测图精度要求和 POS 定位定姿精度决定。测图精度受航摄比例尺、测图比例尺、地形类别、POS 原始精度、地面控制点精度、模型结构、有无构架航线等多种因素影响。POS 定位定姿精度由设备决定。因此,框幅式 POS 辅助区域网大小宜给出指导性约定和原则性要求,而不宜明确规定。

## 9.3 推扫式 (ADS) 航空摄影测量

### 9.3.1 资料情况

推扫式数字航空摄影控制测量区域网大小的资料见表 8。

表 8 推扫式 (ADS) 数字航空摄影测量区域网大小

| 资料来源                                  | 区域网大小  |
|---------------------------------------|--|
| 陕西 1 万更新 ADS80 影像外控布点方案试验             | 1:10 000 测图区域网内航线数 22 条。                     |
| 徠卡 ADS80 数字航空摄影测量系统在大范围矿区空三加密作业中的效率分析 | 1:2000 测图区域网内航线数 19 条、6 条。                   |
| ADS80 相机无控制点测量满足 1:2000 成图研究          | 1:2000 测图区域网内航线数 28 条。                       |
| 基于像素工厂处理 ADS100 数据空中三角测量的研究           | 区域网内 3 条航线, 800 平方公里面积                       |
| 控制点分布对航摄影区域网平差精度的影响 (陕西乾县中部测区)        | 1:2000 测图区域网内 10 条航线, 3.6 平方公里面积。            |
| 控制点分布对航摄影区域网平差精度的影响 (黑龙江佳木斯测区)        | 1:2000 测图区域网内 7 条航线, 7.9 平方公里。               |
| 控制点分布对航摄影区域网平差精度的影响 (甘肃省镇原县)          | 1:2000 测图区域网内 6 条航线, 250 平方公里。               |
| A3 航空摄影测量系统及其工程试验与分析 (框幅+推扫)          | 1:2000 测图区域网内 13 条航线。                        |
| POS 数据在 1:2 000 比例尺航测成图中应用分析          | 山地 1:2000 测图区域网内 25 条航线。                     |
| 武汉市 0.15 米分辨率正射影像图制作项目空三加密报告          | 区域网分别为 10 条、14 条、22 条航线。                     |
| 武汉市中心城区真彩色航空摄影空三加密报告                  | 区域网分别为 45 条、8 条、18 条航线。                      |
| 基于 Leica Xpro 平台的陇南地区 ADS80 数据加密流程    | 1:10 000 测图区域网为 1:100 000 区域范围, 约 2000 平方公里。 |

### 9.3.2 资料分析

根据以上资料与调研分析可知, 推扫式 (ADS) 数字航空摄影测量均配备 POS 定位定姿系统。并且其定位定姿精度较高。生产中区域网既有近 30 条航线的大网, 亦有 3 条航线的小网。区域网大小对控制测量精度影响不大。

因此, 推扫式 (ADS) 数字航空摄影测量区域网大小一般由区域地形特点和测图要求决定。区域网多数情况下不考虑大小, 采用全测区构网的方式亦可, 因此不宜给出具体规定。



## 10 单航线（或航带网）像控点布点

### 10.1 框幅式无 POS 辅助单航线

#### 10.1.1 资料情况

框幅式无 POS 辅助数字航空摄影测量，其单航线像控点布设资料见表 9。

表 9 框幅式无 POS 辅助单航线 像控点布设要求

| 资料来源                              | 像控点布设要求  |
|-----------------------------------|--|
| GB50167-2014 工程摄影测量规范             | 1) 两端应各布设 2 个平高点，中间按 $N=4+Int(1+n/2)$ 均匀布设。  |
| GB/T 50537-2017 油气田工程测量标准         | 1) 航线两端各布设两个平高控制点，航线中间按 $N=4+Int(1+n/2)$ 均匀布设平高控制点；<br>2) 航线首末端上下控制点应位于通过像主点且垂直于方位线的直线上，偏离不应大于半条基线，上下两控制点应布在同一立体像对内。   |
| GB/T 50539-2017 油气输送管道工程测量规范      | 1) 平高点分段布设，每段布设 6 个平高点；<br>2) 航线首末端上下控制点应位于通过像主点且垂直于方位线的直线上，偏离不应大于半条基线，上下两控制点应布在同一立体像对内；<br>3) 航线中间两控制点宜布设在首末控制点中线上，向两侧偏离不超过一条基线，其中一个应在中线上，避免同侧偏离。                                 |
| GB / T 39612-2020 低空数字航摄与数据处理规范   | 1) 在需布点像片的上下标准点位处均需布设控制点；<br>2) 1: 500: 航向基线数 $\leq$ 3；<br>3) 1: 1 000: 航向基线数 $\leq$ 4；<br>4) 1: 2 000: 航向基线数 $\leq$ 6；<br>5) 仅测制 DOM 时，基线跨度可放宽至 2 倍。                              |
| CH/T3004-XXXX 低空数字航空摄影测量外业规范（报批稿） | 1) 在需布点像片的上下标准点位处均需布设控制点；<br>2) 1: 500: 航向基线数 $\leq$ 3；<br>3) 1: 1 000: 航向基线数 $\leq$ 4；<br>4) 1: 2 000: 航向基线数 $\leq$ 6；<br>5) 仅测制 DOM 时，基线跨度可放宽至 2 倍。                              |
| SL197-2013 水利水电工程测量规范             | 1) 单航线加密时，航线首末端上下两个像控点宜布设在通过像主点且垂直于方位线的直线上，困难时互相偏离不大于半条基线，上下对点应布设在同一立体像对内；<br>2) 航线中间的两个像控点，一般应布设在首末像控点的中线上，困难时可向两侧偏离 1 条基线，其中一个宜在中线上，尽量避免两个像控点同时向中线同侧偏离，若出现同侧偏离时，最大偏离中线不超过 1 条基线。 |
| 基于 DMC 的航空摄影测量误差分析和               | 1) 1: 500、1: 1 000、1: 2 000 应在航带网首末布控制   |

| 资料来源     | 像控点布设要求             |
|----------|---------------------|
| 质量控制方法研究 | 点, 航向 $\leq 10$ 条基线 |

### 10.1.2 资料分析

从相关资料可以看出, 无 POS 辅助单航线像控点布设时应在航线网两端各布设 2 个平高控制点, 中间按一定间隔均匀布设平高控制点。无 POS 辅助单航线像控点布设间隔如下:

1) GB50167、GB/T 50537 认为应按  $N=4+\text{Int}(1+n/2)$  布设, 基本基线在 10 条左右时, 可采用周边四点法。基线在 30 条以内时, 每隔 20 基线左右布一个点, 50 条以内时, 每隔 30 基线左右布一个点。

2) 有研究认为 DMC 影像单航线空中三角测量平面精度随控制点间的基线数的减少而趋于一致, 即在基线为 10 条以内时, 平面精度基本趋于一致, 可采用周边 4 点法布点, 如果大于 10 条基线就要按间隔布点。

3) 在高程精度方面, 研究认为单航线网最弱点位于航线中间, 高程精度随控制点间的基线数的减小而减小, 在达到 10 条基线左右时趋于一致; 在大于 20 条基线以上的航带网平差中, 误差在高程方面的传播将会以不可预期的方式放大。

从资料分析可以看出, 对于 10 条基线以内单航线网, 可以采用两端各布设 2 个平高点的周边布点法, 对于大于 10 条基线的航线网宜按一定间隔在标准点位处布点, 即平高点间隔数小于或等于 10 条基线。

## 10.2 框幅式 POS 辅助单航线网

### 10.2.1 资料情况

对于框幅式 POS 辅助数字航空摄影测量, 单航线网像控点布设资料状况见表 10。

表 10 框幅式 POS 辅助单航线网像控点布设要求

| 资料来源                  | 像控点布设要求                              |
|-----------------------|--------------------------------------|
| GB50167-2014 工程摄影测量规范 | 1) 航线两端应各布设两个平高控制点, 中间应布设不少于 1 个平高点。 |

| 资料来源                               | 像控点布设要求   |
|------------------------------------|---|
| GB/T 50537-2017 油气田工程测量标准          | 1) 航线两端应各布设两个平高控制点, 中间应布设不少于 1 个平高点。  |
| GB/T 50539-2017 油气输送管道工程测量规范       | 1) 航线两端应各布设两个平高控制点, 中间应布设不少于 1 个平高点。  |
| GB39612/T-2020 低空数字航摄与数据处理规范       | 1) 1: 500: 航向基线数 $\leq$ 12;<br>2) 1: 1 000: 航向基线数 $\leq$ 15;<br>3) 1: 1 000: 航向基线数 $\leq$ 20;<br>4) 需布点像片的上下标准点位处均需布设控制点。<br>5) 仅测制 DOM 时, 基线跨度可放宽至 2 倍。                                    |
| CH/T3004-XXXX 低空数字航空摄影测量外业规范 (报批稿) | 1) 1: 500: 航向基线数 $\leq$ 12;<br>2) 1: 1 000: 航向基线数 $\leq$ 15;<br>3) 1: 1 000: 航向基线数 $\leq$ 20;<br>4) 需布点像片的上下标准点位处均需布设控制点。   |
| SL197-2013 水利水电工程测量规范              | 1) 单航线加密时, 航线首末端上下两个像控点宜布设在通过像主点且垂直于方位线的直线上, 困难时互相偏离不大于半条基线, 上下对点应布设在同一立体像对内;<br>2) 航线中间的两个像控点, 一般应布设在首末像控点的中线上, 困难时可向两侧偏离 1 条基线, 其中一个宜在中线上, 尽量避免两个像控点同时向中线同侧偏离, 若出现同侧偏离时, 最大偏离中线不超过 1 条基线。 |

### 10.2.2 像控点布设分析

根据以上资料分析与调研可知, 对于框幅式 POS 辅助数字航空摄影测量, 单航线像控点布设的认识较为一致, 宜采用航线两端应各布设两个平高控制点, 中间布设不少于 1 个平高控制点的 5 点法或者中间上下各布一个点的 6 点法。

### 10.3 推扫式单航线

推扫式单航线与推扫式区域网像控点布点差不多, 可按照区域网布点方案解决, 即只需在航线网四周布设 4 个控制点即可。

## 11 区域网像控点布点

区域网空中三角测量精度的主要因素是模型连接强度(包括旁向重叠度)和连接点点数, 控制点的布设则是另一个重要因素。因此, 区域网像控点布设是保证空中三角测量精度的关键。

## 11.1 框幅式无 POS 辅助区域网

### 11.1.1 资料情况

框幅式无 POS 辅助数字航空摄影，区域网像控点布设要求资料见表 11。

表 11 无 POS 辅助区域网像控点布设要求

| 资料来源                         | 像控点布设要求  |
|------------------------------|--|
| GB50167-2014 工程摄影测量规范        | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 一般地区：航线间隔<math>\leq 16</math>；模型间隔<math>\leq 16</math>；</li> <li>2) 城镇建筑区：航线间隔<math>\leq 12</math>；模型间隔<math>\leq 12</math>；</li> <li>3) 工业厂区：航线间隔<math>\leq 8</math>；模型间隔<math>\leq 8</math>；</li> <li>4) 区域网四角应布设平高控制点，航线四边间隔 k 个模型布设平高控制点（16、12、8）；</li> <li>5) 区域网内布平高点，航线四边间隔 2k 布平高点（32、24、16）；</li> <li>6) 不规则网，凸角处加布平高控制点，凹角处加布高程控制点，当凹角大于间隔基线时加布平高控制点。</li> </ol> |
| GB/T 50537-2017 油气田工程测量标准    | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 1:500 平高点：航线数 4-5，基线数 4-5 条基线，高程点间基线数 5-6，高程内业加密 2-4；</li> <li>2) 1:1 000 平高点：航线数 4-6，基线数 6-7 条基线，高程点间基线数 6-10，高程内业加密 2-4；</li> <li>3) 1:2 000、1:5 000 平高点：航线数 2-4，基线数 2-4 条基线，高程点间基线数 4-6；</li> <li>4) 1:500 平地、丘陵平高点采用全野外布点，1:1 000、1:2 000 高程点采用全野外布点；</li> <li>5) 区域网用于加密平高点时，可沿周边布设 6-8 个平高点；</li> <li>6) 不规则网，凸角处加布平高控制点，凹角处加布高程控制点，当凹角大于两条基线时加布平高控制点。</li> </ol>    |
| CJJ/ T8-2011 城市测量规范          | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 平高控制点宜采用区域网周边布点；</li> <li>2) 内部平高控制点航线数<math>\leq 6</math>条；基线数<math>\leq 8</math>条；</li> <li>3) 高程控制点的航向跨度，平地、丘陵地<math>\leq 8</math>条基线，山地、高山地<math>\leq 10</math>条基线；</li> <li>4) 不规则区域网凸角点处应加布平高点，凹角点处加布高程点。当凹角点与凸角点之间的距离或凹角大于两条基线时，凹角点处应布平高点；</li> <li>5) 5~6 条航线时，周边和中央布设平高控制点（11），在区域两端和中间布设 3~5 排高程控制点；</li> <li>6) 不超过 4 条航线时，可沿周边布设八个平高控制点；</li> </ol>            |
| GB39612/T-2020 低空数字航摄与数据处理规范 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 1: 500：航线跨度<math>\leq 3</math>；航向基线数<math>\leq 3</math>；</li> <li>2) 1: 1 000：航线跨度<math>\leq 3</math>；航向基线数<math>\leq 4</math>；</li> <li>3) 1: 2 000：航线跨度<math>\leq 3</math>；航向基线数<math>\leq 6</math>；</li> <li>4) 仅测制 DOM 时，航线跨度、基线跨度可放宽至 2 倍；</li> </ol>   |

| 资料来源                               | 像控点布设要求  |
|------------------------------------|--|
|                                    | 5) 特殊困难地区, 中误差可放宽 0.5 倍, 布点依据设计书放宽。  |
| CH/T3004-XXXX 低空数字航空摄影测量外业规范 (报批稿) | 1) 1: 500: 航线跨度 $\leq 3$ ; 航向基线数 $\leq 3$ ;<br>2) 1: 1 000: 航线跨度 $\leq 3$ ; 航向基线数 $\leq 4$ ;<br>3) 1: 2 000: 航线跨度 $\leq 3$ ; 航向基线数 $\leq 6$ ;<br>4) 仅测制 DOM 时, 航线跨度、基线跨度可放宽至 2 倍;<br>5) 特殊困难地区, 中误差可放宽 0.5 倍, 布点依据设计书放宽。   |
| SL197-2013 水利水电工程测量规范              | 1) $k(\text{地面分辨率} \times 10000/20) < 2$ , 航线间隔小于 8;<br>2) $2 \leq k(\text{地面分辨率} \times 10000/20) < 4$ , 航线间隔小于 6;<br>3) $4 \leq k(\text{地面分辨率} \times 10000/20)$ , 航线间隔小于 4;<br>4) 基线数由 $m_s$ 、 $m_h$ 公式确定, 矛盾时, 以高程为准, 且不大于 12。<br>5) 不规则区域网宜在凸角转折处布平高点, 凹角转折处一条基线时布设高程点, 一条以上基线时布设平高点。<br>6) 自由图边应布设于图边外, 测区周边宜布在 3 片重叠处。<br>7) 同一比例尺, 不同航摄影航片在同区域网时, 在航向衔接处加布 1 个平高和 1 个高程控制点;<br>8) 区域网内 (区域网中心) 应布设一个平高点作检查点。   |
| 基于 UCX 数字航空影像的空三加密像控点布设方案探讨        | 1: 2 000: 航向跨度 12 条基线, 旁向 2 条基线布平高点。   |
| 航空摄影测量法生产数字线划图的精度分析 (UCXP)         | 1: 2 000: 平地、丘陵地基线跨度 $\leq 3$ 条基线; 山地、高山地基线跨度 $\leq 10$ 条基线。   |
| 现代数字摄影测量与 GIS 结合的 数字城市建设应用研究       | 1: 500: 航向基线跨度 $\leq 3$ 条基线。   |
| 空三加密优化控制网布设方案的实验研究                 | 1: 10 000: 航向跨度 4 条基线, 旁向 2 条基线。   |
| 基于 DMC 的航空摄影测量误差分析和质量控制方法研究        | 1) 1: 1 000: 航线 $\leq 10$ , 模型数 $\leq 40$ 时, 像控点采用四点法或八点法;<br>2) 1: 1 000: 航线 $\leq 20$ , 模型 50 甚至更大时, 像控点采用 16 点法或密周边法; 非矩形区域网, 所有控制点连接后的图形应呈凸图形形状;<br>3) 1: 500: 航线 $> 4$ , 模型 $> 30$ 时, 采用周边 8 点法或航线 $\leq 12$ 条基线;<br>4) 1: 500、1: 1 000、1: 2 000: 高程按航线, 每条航线间 8-12 基线;<br>5) 1: 500、1: 1 000、1: 2 000: 高程平地、丘陵地每 2 条航线布设一排控制点, 间隔 4-6 基线;<br>6) 1: 500、1: 1 000、1: 2 000: 10 条以内航线时, 平高周边 8 点法; 高程点航线 2 条, 基线数小于 13;<br>7) 1: 500、1: 1 000、1: 2 000: 10 条以上航线时, 平高周边 16 点法, 高程点航线 2 条, 基线数小于 13。 |

| 资料来源                          | 像控点布设要求  |
|-------------------------------|--|
| 正射影像图制作像控点布设方案研究与实践探索（安徽潜山测区） | 丘陵地 1:2 000: 5 条基线间隔，平面位置中误差 0.33 米，高程中误差 0.2071 米；10 条基线间隔，平面位置中误差 0.42 米，高程中误差 0.2867 米；15 条基线间隔，平面位置中误差 0.90 米，高程中误差 0.4204 米；20 条基线间隔，平面位置中误差 1.07 米，高程中误差 0.5090 米。航线方向按规范要求 2 倍、3 倍基线数布设平高点，能制作出满足规范精度要求的正射影像图。  |
| 基于 UCE 影像的像控网设计方案对空中三角测量精度的影响 | 1:1000:1) 11 或 12 条基线，航线 2 条，平面 0.108，高程 0.211；2) 7 或 8 条基线，航线 4 条，平面 0.177，高程 0.128。  |
| CORS 技术在航测外业控制测量中的应用研究        | 丘陵地：航线数 2，基线数 15-20。   |
| DMC 航摄影像外业像控布点实验研究            | 丘陵地 1:5 000: 航线数为 5 条，15 条基线，四角布平高点，中间加布 1 高程点。  |
| DMC 在平坦地区数字航测中的应用             | 平地 1:5 00、1:1 000: 航线数为 8 条，10-12 条基线。   |
| 常规区域网布点（自然资源部第一航测遥感院）         | 1) 1:2 000: 平高控制点周边布设 6 或 8 点法；<br>2) 1:2 000: 高程控制点平地航向 $\leq$ 2 条基线，旁向 $\leq$ 2 条航线；丘陵地航向与旁向 $\leq$ 4 条基线或航线；山地、高山地航向 $\leq$ 10 条基线，旁向 $\leq$ 6 条航线；<br>3) 1:5 000、1:10 000: 平高控制点平地、丘陵地区域网为 6 幅图或山地、高山地区域网为 8 幅图时，采用周边 6 点法；平地、丘陵地区域网大于 6 幅山地、高山地区域网大于 8 幅时，采用周边 8 点法；<br>4) 1:5 000、1:10 000: 高程控制点平地航向 $\leq$ 3 条基线，旁向 $\leq$ 3 条航线；丘陵地航向 $\leq$ 8 条基线，旁向 $\leq$ 6 条航线；山地、高山地航向 $\leq$ 15 条基线，旁向 $\leq$ 8 条航线；<br>5) 1:25 000、1:50 000: 平高控制点航线数不大于 4 条时，可采用周边 4 点法；航线数不大于 6 条时，可采用周边 6 点法；航线数大于 6 条时，可采用周边 8 点法或周边多点法。 |

### 11.1.2 像控点布设分析

框幅式无 POS 辅助区域网像控点布设情况如下：

1) 理论研究认为，由于平面位置在所定义的曲面上是连续的、相关性强，每个点的平面坐标及点之间的距离都可以通过严格的数学模型来表达，所以平面控制测量只要控制住线路的端点或区域网边缘的精度就可以达到目的。但是，因地面点在高程方向上是离散的、相关性弱，需要采用复杂的拟合方式来表达区域内地形起伏。因此，高程精度的控制要比平面精度的控制复杂；

2) 区域网平面精度与高程控制点的分布没有关系，区域网内部

控制点对平面精度影响不大。比较区域网 4 角布设平高控制点与区域网边缘加密布设控制点（密周边布点）两种方案，采用密周边布点方案的空中三角测量系统误差小很多。因此，平面精度的薄弱点位于区域网周边，平面控制点采用密周边布点更有效。同时，平面控制点的分布对高程精度几乎没有影响，高程精度的薄弱点位于区域网中央。高程控制点应按矩阵形式布设才能均匀地控制区域网模型在高程方面的变形；

3) 非矩形区域网，所有控制点连接后的图形应呈凸图形状，尤其是航线两端的控制点；区域网内部的高程控制点最好布设在航线连接六片重叠区内；

4) 高精度像控点比低精度点能更好地控制误差的传播。因此，需要尽可能地利用新技术提高像点的测量精度。

5) 按照空中三角测量平面精度最弱点位于区域网四周，高程精度取决于控制点间的跨度而与区域网大小无关的原理。当前，多数标准将平面控制点布设在区域网周边，即平高控制点采用密周边布点法，在四周布设 4、6、8、12 甚至 16 个平高点（与区域网大小关系密切）。高程控制点采用按航线间隔和模型间隔布点（不同比例尺测图、不同地形类别按航线和模型间隔不同）。另一方面，对于不规则区域网的空中三角测量精度薄弱处，需要通过增加控制点的方法，提高薄弱处加密精度，一般规定在不规则区域网凸角处加布平高控制点，凹角处加布高程控制点。

6) 一些研究认为航线数小于 10，模型数少于 40 时，区域网四周布设 4 或 8 个平高点，并注意控制点位置以及模型间隔，可满足平面控制的要求。但是，4 条航线、每条航线模型在 30 个以上时，尽管内部具有较高的几何稳定性，但平差结果存在不稳定性。如果是 8 条航线，39 条基线以内的中网，可采用周边 8 点法布设平面控制点。若航线数可大于 20，模型数大于 50，可采用在四周布设 16 点或密周边布平高点。高程点按 8-12 条基线、8 条航线以内间隔布设时，精度基本趋于一致，区域网平差精度可以符合测图精度要求，

且最大高程误差不超过检查点中误差的 2 倍。

7) 数字航空摄影测量与模拟、解析时代有了很大变化。模拟、解析时代航空摄影测量技术发展缓慢，所用仪器设备、航摄方案、技术参数等比较稳定，一定比例尺测图对控制点布设要求也相对统一，容易给出统一指标。当前，技术发展日新月异，航摄设备、航摄方案、技术参数等差别较大。同时，因航摄设备、方案和技术参数的差异，造成控制点布设方案有很大差别，难以提出统一要求。

因此，当前框幅式无 POS 辅助区域网布点需采用平面和高程分别布点。平高控制点用密周边布点法，高程点按一定航线和基线间隔，采用矩阵式（锁形）布点法。其次，控制点数量、间隔要求缺乏共识性结论。同时，考虑到国家标准是规定共性的基本要求，并鼓励使用新技术，减少控制点数量，提高作业效率。因此，控制点数量、间隔宜以满足测图精度为根本目的，给出不低于某一规定的基本要求，生产中精度若达不到要求，则应增加布设控制点。此外，平高控制点可根据区域网大小、测图比例尺和测图精度要求采用周边 6 点法、周边 8 点法或周边多点法。高程点基线间隔最大值宜限定在 10 条左右，航线间隔宜限定在 8 条左右。另外，不规则区域网需要对区域网内薄弱处误差进行控制，即在凸角处加布平高控制点，凹角处加布高程控制点，当凹角大于间隔基线时加布平高控制点，以确保控制点连接后的图形呈凸边形状。

## 11.2 框幅式 POS 辅助区域网

### 11.2.1 资料情况

框幅式 POS 辅助数字航空摄影测量，区域网像控点布设要求资料见表 12。

表 12 框幅式 POS 辅助区域网像控点布设要求

| 资料来源                      | 像控点布设要求                   |
|---------------------------|---------------------------|
| GB 50167-2014 工程摄影测量规范    | 区域网四角附近和中部附近各配置 1 个平高控制点。 |
| GB/T 50537-2017 油气田工程测量标准 | 区域网四角附近和中部附近各配置 1 个平高控制点。 |



| 资料来源  | 像控点布设要求   |
|---|---|
| CJJ/T 8-2011 城市测量规范                           | 1) 四角两边法, 四角各布设一个平高控制点, 在区域网两端垂直于航线方向的旁向重叠中线附近各布设一个高程控制点;<br>2) 四角两线法, 四角各布设一个平高控制点, 两端垂直于航线方向敷设两条构架航线;<br>3) 不规则区域网应于其周边增设像控点, 宜在凸角转折处布设平高控制点, 凹角转折处一条基线时布设高程控制点, 一条以上基线时布设平高控制点。  |
| GB/T 39612 -2020 低空数字航摄与数据处理规范                | 1) 1: 500: 航线跨度 $\leq 6$ ; 航向基线数 $\leq 12$ ;<br>2) 1: 1 000: 航线跨度 $\leq 6$ ; 航向基线数 $\leq 15$ ;<br>3) 1: 2 000: 航线跨度 $\leq 6$ ; 航向基线数 $\leq 20$ ;<br>4) 像片控制点连线覆盖成图区域, 且全部为平高点;<br>5) 像片控制点采用角点、拐点布点法, 在凸角和凹角转折处布点, 在区域网中央布点;<br>6) 仅测制 DOM 时, 基线跨度可放宽至 2 倍。 |
| CH/T 3004-2021 低空数字航空摄影测量外业规范                 | 1) 1: 500: 航线跨度 $\leq 6$ ; 航向基线数 $\leq 12$ ;<br>2) 1: 1 000: 航线跨度 $\leq 6$ ; 航向基线数 $\leq 15$ ;<br>3) 1: 2 000: 航线跨度 $\leq 6$ ; 航向基线数 $\leq 20$ ;<br>4) 仅测制 DOM 时, 基线跨度可放宽至 2 倍。   |
| SL197-2013 水利水电工程测量规范                         | 1) 采用 4 角法, 在 4 角各布设 1 个平高控制点, 区域网中间布设 1 个以上平高检查点;<br>2) 4 角平高控制点宜布设在边缘两条航线重叠区域, 平高检查点布设于区域网中心。   |
| GB/T 27919-2011 IMU/GPS 辅助航空摄影技术规范            | 航线方向基线数 $\leq 3$ 。  |
| 商南测区 IMU/GNSS 辅助空三试验                          | 1) 1: 10 000: 周边 8、6、4 点, 航线、航向 14 条基线;<br>2) 1: 10 000 周边 8、6、4 点, 航线、航向 8 条基线。  |
| SWDC 数字航摄仪的界址点测量应用初探                          | 1) 1: 500: 航线跨度 2 条基线; 航向基线数 16 条基线;  |
| UCXP 数字航摄系统 DEM、DOM 产品制作和精度分析                 | 伊犁河谷 1: 1 000: 周边 4 点法, 航线跨度 7-9 条基线, 航向基线数 19-29 条基线。  |
| UCX 数码影像在 1: 2 000 大比例尺正射影像图生产中的应用            | 1: 2 000: 航向跨度 $\leq 20$ 基线; 旁向 $\leq 20$ 条基线。  |
| DMCIII 数码航摄系统在 1: 500 大比例测图中的应用               | 1: 500: 航向 8 条~10 条基线, 航带间均布设平高点。   |
| 基于 IMU/GNSS 的航摄数据在 1: 10000DLG 更新中像控点布设方案应用研究 | 1) 1: 10 000 规则区域网, 在四个角点处布设平高控制点;<br>2) 1: 10 000 不规则的区域网, 在角点(凸角和凹角的转折处)处布设平高控制点。   |
| 无人机数码影像外业像控点布点方案探讨                            | 1: 2 000 山地:<br>1) 15 条基线, 单航线, 平面 0.237m, 高程 0.321m;<br>2) 15 条基线, 隔 1 条航线, 平面 0.356m, 高程 0.369m;<br>3) 15 条基线, 隔 2 条航线, 平面 0.384m, 高程 0.392m。   |

| 资料来源                                    | 像控点布设要求   |
|---|---|
| 基于 UCE 影像的像控网设计方案对空中三角测量精度的影响           | 1:1 000 平缓丘陵地区域网 12 条航线, 46 条基线: 1) 4 点法, 平面 0.116m, 高程 0.195m; 2) 6 点法, 平面 0.113m, 高程 0.187m; 3) 9 点法, 平面 0.107m, 高程 0.182m; 4) 12 点法, 平面 0.106m, 高程 0.145m。                                   |
| 机载 POS 辅助像控布设在 1:2 000 比例尺航摄成图中的应用      | 1:2 000 航线数 8 条, 87 条基线: 1) 一般区域网, 航线 4 条, 基线 15 条, 平面、高程误差均满足规范精度。2) 基线数量多, 航线数量少的区域网, 4 角布平高点, 航线起止点布高程点, 平面、高程误差均满足规范精度; 3) 800km <sup>2</sup> -1200km <sup>2</sup> , 四角布设平高点, 同时敷设两条垂直构架航线。 |
| 基于国产 SWDC 航摄仪的稀少控制航测应用                  | 丘陵、山地 1:10 000: 区域网两端布构架航线。4 个角点布平高点, 平面中误差为 76.1cm, 高程中误差为 39.4cm。   |
| 机载 GPS/BD 辅助光束法区域网平差在大比例尺测图中的应用         | 丘陵 1:1 000: 四角布设平高点, 航线两端重叠处布设高程点, 平面中误差为 0.28m, 高程中误差为 0.24m。  |
| GPS 辅助光束法区域网平差像控布点方案在大比例尺航摄成图中的关键技术应用研究 | 1) 无构架航线: 四角布设平高点, 航线两端重叠处布设高程点, 平面最大误差为 0.516m, 高程最大误差为 0.373m。<br>2) 有构架航线: 四角布设平高点, 航线两端重叠处布设高程点, 平面最大误差为 0.464m, 高程最大误差为 0.269m。  |
| 深圳市 IMU/GPS 辅助区域网平差布点方案                 | 1) 丘陵 1:2 000: 基线数平高点 12, 高程 6, 旁向逐航线;<br>2) 平地 1:2 000: 基线数平高点 12, 高程 6, 旁向逐航线;<br>3) 山地 1:2 000: 基线数平高点 24, 高程 24, 旁向 4 航线;<br>4) 高山地 1:2 000: 航向平高点 24, 高程 24, 旁向 4 航线。                      |
| GPS 辅助的构架航线区域网平差精度分析                    | 区域网四角布设四个平高控制点, 不受区域网的大小的影响; 使用构架航线, 只需对角两个平高控制点即可达到较高精度。   |
| IMU/DGPS 辅助的大跨度航线区域网平差精度分析              | 1) 1:5 000: 无控情况下, 平面中误差 0.88, 最大误差 1.77; 高程中误差 1.40, 最大误差 2.05;<br>2) 1:5 000: 四角布平高点下, 平面中误差 0.89, 最大误差 1.77; 高程中误差 0.63, 最大误差 1.05。  |
| POS 数据在 1:2 000 比例尺航测成图中应用分析            | 平地 1:2000 测图: 无控测图, 平面位置中误差 0.65m, 高程中误差 2.77m。   |
| IMU/GPS 辅助航空摄影测量技术方法应用研究—以贵阳市航空摄影测量项目为例 | 1:2 000 测图: 6 条航线和 60 条基线, 采用 9 点法布点不规则区域, 平高点间隔 30 条基线以上时中间加布一个平高点; 14cm 摄区: 平面中误差 0.198, 高程中误差 0.062。   |
| GNSS 辅助摄影测量中几个问题的探讨                     | 1) 像控点布设采用区域网法, 在区域网四周布设 4 个平高点, 如果没有加摄控制航线, 在区域两端各布设一排高程控制点。<br>2) 不规则的测区可扩大区域范围, 将测区包含在矩形区域内。否则要在测区的凸凹处, 根据具体情况布设点。   |
| POS 辅助航空摄影测量应用研究                        | 1) 1:2 000 测图: 周边 16 点法, 航向 6-18 条基线, 旁向 3-6 条航线, 凸边布点。常规航测测量外业控制点的四分之一;<br>2) 1:5 000 测图: 测区周边 1-5 个控制点。   |
| 常规区域网布点 (自然资源部第一航测遥感院)                  | 区域网平高控制点采用周边 4 点法。  |

### 11.2.2 框幅式 POS 辅助区域网像控点布设分析

框幅式 POS 辅助数字航空摄影测量, 区域网像控点布设情况分

析如下：

1) 多数相关标准（例如：GB50167、GB/T 50537、SL197）规定控制点布设采用区域网四周各布设 1 个平高点，中间布设 1 个平高点或高程点的方案，也有个别标准（例如：CJJ/T 8）规定区域网四周布设各布设 1 个平高点，垂直于航线方向布两条构架航线的方案；

2) 有研究认为框幅式 POS 辅助数字航空摄影测量区域网，采用两端敷设两条垂直构架航线方案，由于构架航线精度低于空中三角测量加密点的精度，对补偿区域网的系统误差起不到实质性作用，区域网本身精度还是由地面控制点决定。但是，构架航线可提高区域网平差时粗差的探测能力，进一步减少控制点数量。同时，有研究证明在垂直于航线方向布设两排高程控制点可有效代替构架航线。但是，布设两排高程控制点增加了控制测量工作量，同时区域网内是否有构架航线不是控制测量阶段所能决定。因此，该方案并非优化、高效方案；

3) 有研究认为框幅式 POS 辅助数字航空摄影测量，POS 数据本身精度对区域网平差结果影响较大。如果精度高，即使对于大跨度航线也可以达到较高的测量精度；

4) 有研究认为由于光束法区域网平差的精度需要由地面控制点决定，对于无地面控制的区域网虽然在条件良好的情况下可以达到较高的精度，但仍有系统误差的风险。因此，框幅式 POS 辅助数字航空摄影测量区域网中使用少量地面控制点与 POS 数据进行联合平差，可以有效地纠正各种系统误差，提高空三加密的精度；

5) 研究和生产实践证明，框幅式 POS 辅助数字航空摄影测量区域网平差，不受区域网大小影响，在区域网四角布设 4 个平高控制点，利用这些控制点与 POS 数据联合，可达到较高的解算精度；

6) 实验证明 POS 辅助区域网像控点布设采用 9 点法时平面精度满足 1：1000、1：2000 城市测量规范要求，不满足 1：500 的城市测量规范要求（即 0.125 m）。高程精度既满足 1：2000 城市测量规

范要求，又满足 1：500、1：1000 丘陵、山地区域要求，无法满足 1：500、1：1000 平地 (0.5m 等高距) 精度要求 (即 0.05m)；

7) 框幅式 POS 辅助数字航空摄影测量不规则区域网，需要在凸角转折处布设平高控制点。

从以上资料分析可知，框幅式 POS 辅助数字航空摄影测量区域网，少量控制点 (稀少控制点) 与 POS 数据联合进行空中三角测量可以有效改正 POS 数据各种系统误差，满足相关测图精度要求。在绝大多数情况下可在区域网四周布设各布设 1 个平高点，中间布设 1 个平高点或高程点的布设方法，即可满足要求。同时，对于非规则区域网，需要在凸角转折处布设平高控制点。

### 11.3 推扫式区域网

#### 11.3.1 资料情况

对于推扫式数字航空摄影测量，区域网像控点布设要求资料见表 13。

表 13 推扫式区域网像控点布设要求

| 资料来源                                  | 像控点布设要求   |
|---------------------------------------|---|
| SL197-2013 水利水电工程测量规范                 | 1) 在区域网四角各布设一个像控点；<br>2) 具有大地水准面精化成果条件下，不布设像控点，采用无约束区域网平差，但应在区域网内布设 2 个以上平高检查点。   |
| GB/T 40766-2021 数字航天摄影测量控制测量规范        | 1) 单景影像为基本布点单元，每景影像上布设 4 个像控点；<br>2) 立体区域网以分段条带为基本布点单元，每个基本布点单元布设 4 个像控点和一个检查点。4 个像控点应布设在分段条带首末两端单模型角点位置，检查点布设在分段条带中间位置；<br>3) 像控点尽量位于相邻影像、模型、条带重叠范围内，相邻影像、模型和条带间像控点尽量共用。 |
| 陕西 1 万更新 ADS80 影像外控布点方案试验             | 1) 1: 10 000 周边 4 点，中间 1 点法，航线跨度 22 条基线；<br>2) 1: 10 000: 无控。   |
| 徕卡 ADS80 数字航空摄影测量系统在大范围矿区空三加密作业中的效率分析 | 1) 1: 2000: 周边 4 点法或 6 点法，航线跨度 6 条；<br>2) 1: 2000: 19 条航线，无控。   |
| ADS80 相机无控制点测量满足 1:2000 成图研究          | 1:2 000 测图: 区域网 28 条航线，无控。  |

| 资料来源                               | 像控点布设要求  |
|------------------------------------|--|
| 基于像素工厂处理 ADS100 数据空中三角测量的研究        | 无控。  |
| 控制点分布对航摄影区域网平差精度的影响（陕西乾县中部测区）      | 1) 1:2 000 测图：四角布点：平面中误差 0.121m，最大误差 0.206m，高程中误差 0.227m，最大误差 0.347m；<br>2) 1:2 000 测图：四角和中心布点：平面中误差 0.135m，最大误差 0.243m，高程中误差 0.144m，最大误差 0.240m。  |
| 控制点分布对航摄影区域网平差精度的影响（黑龙江佳木斯测区）      | 1) 1:2 000 测图：四角布点法：平面中误差 0.157m，最大误差 0.198m，高程中误差 0.637m，最大误差 0.714m；<br>2) 1:2 000 测图：四角和中心布点：平面中误差 0.165m，最大误差 0.200m，高程中误差 0.478m，最大误差 0.594m。 |
| 控制点分布对航摄影区域网平差精度的影响（甘肃省镇原县）        | 1) 1:2 000 测图：四角布点法：平面中误差 0.058m，最大误差 0.073m，高程中误差 0.179m，最大误差 0.202m；<br>1) 1:2000 测图：四角和中心布点：平面中误差 0.03m7，最大误差 0.041m，高程中误差 0.080m，最大误差 0.088m。  |
| A3 航空摄影测量系统及其工程试验与分析（框幅+推扫）        | 1) 山地 1:2000 测图：平地 4 点法，平面中误差小于 0.125，高程中误差小于 0.179m。  |
| POS 数据在 1:2 000 比例尺航测成图中应用分析       | 1) 山地 1:2000 测图：无控测图，平面位置中误差 0.26 m，高程中误差 0.29m。   |
| 武汉市 0.15 米分辨率正射影像制作项目空三加密报告        | 1) 平面位置中误差 0.149m，最大误差 0.41m，高程中误差 0.202m，最大误差 0.749m。   |
| 武汉测区空三报告（0.15 米分辨率）                | 1) 平面位置中误差 0.104m，最大误差 0.471m，高程中误差 0.088m，最大误差 0.27m。   |
| 基于 Leica Xpro 平台的陇南地区 ADS80 数据加密流程 | 1) 高山地 1:10 000：区域网四角及中心布设 5 个平高控制点。平面中误差为 0.98m，高程中误差为 0.51m。   |
| 常规区域网布点（自然资源部第一航测遥感院）              | 1) 区域网平高控制点采用周边 4 点法或周边 6 点法。  |

### 11.3.2 推扫式区域网区域网像控点布设分析

推扫式数字航空摄影测量，区域网像控点布设情况分析如下：

- 1) 推扫式数字航空摄影测量均有 POS 系统辅助；
- 2) 推扫式数字航空摄影测量区域网像控点采用周边 4 点法布点方案较普遍，即在每个区域网 4 角各布设一个平高控制点。该方案能满足一般平面和高程精度要求。其次，对于区域网，有研究认为控制点几何分布对空中三角测量精度影响不大。此外，有研究认为可通过对薄弱点进行加密控制以提高精度；

3) 推扫式数字航空摄影测量区域网采用无控制测图时, 其平面精度和高程精度也常常能满足要求。

由以上资料分析可知, 对于推扫式数字航空摄影测量区域网, 由于有 POS 系统辅助, 控制点布设时, 只需在区域网四角布设 4 个控制点即可, 在有些情况下可以采用无控制测图。

## 12 像控点布设与成果误差

### 12.1 误差估算现状

数字航空摄影测量时, 区域网或航线网控制点的布设需要根据区域网大小、形状、分布、像片间重叠度等综合因素来设计。我国航摄工作者对利用像控点进行空中三角测量误差传播的估算多是基于以下公式:

$$m_s = \pm 0.28 \times k m_q \sqrt{n^3 + 2n + 46}$$

$$m_h = \pm 0.088 \times \frac{H}{b} m_q \sqrt{n^3 + 23n + 100}$$

该公式是 1964 年我国航摄工作者对基于模拟摄影测量空中三角测量阶段航带法最弱点处的平面及高程预期精度推导(立体摄影测量学, 北京测绘学院 1964 年本科讲义)。采用航带法时, 根据空中三角测量偶然误差累积规律, 航线中央为精度最弱点。然后, 依据最弱点的精度估算结合加密点的精度要求可以反算出像控点的布设方案。目前, 这两个公式一直被我国航外、航内测量沿用至今。

对于数字航空摄影测量, 有人认为 DMC 影像航带网高程精度最弱点位于控制点中间, 高程精度随控制点间的基线数的减小而减小。在 10 条基线以内, 精度基本趋于一致。DMC 影像单航线影像的精度估算公式为:

$$M_s = \pm 0.239 \frac{H}{f} m_q \sqrt{n^3 + 496n + 52}$$

$$M_h = \pm \frac{H}{8b} m_q \sqrt{n^3 + 12n + 95}$$

并根据 DMC 影像高和宽之比, 通过实际验证将公式修订为以下

公式。

$$M_s = \pm 0.158 \frac{H}{f} m_q \sqrt{n^3 + 144n + 119}$$

$$M_h = \pm 0.069 \frac{H}{b} m_q \sqrt{n^3 + 12n + 95}$$

## 12.2 误差估算分析

目前，虽然这两个公式虽然沿用至今。但是数字航空摄影测量如果沿用该公式，会存在以下问题：

1) 我国测绘生产作业中基本都是采用光束法区域网平差。目前一些学者分析了光束法区域网精度，归纳出一些估算公式，虽然这些公式存在一定差异，并且都是针对理想的正方形区域网进行理论分析，但是实际作业区域并不是理想正方形，无法照搬理论分析中推导出的公式。因此，光束法区域网的精度一直缺乏成熟的理论依据，以及可靠、权威、普适性的实验验证。其次，沿用航带法精度估算公式时，由于航带法和光束法数学模型不同，在原理、方法、技术实现上均存在较大差异，航带法理论上最弱点在航带中央，而光束法理论上最弱点在区域网周边，将航带法的精度估算公式套用到光束法会存在适用性问题。此外，从平差理论讲，光束法区域网平差过程约束条件比航带法多很多，其加密点精度理论上要比航带法高，从生产实践也能反应出这一点；

2) 数字航摄时代，光束法区域网如果按该公式布点，不仅无法发挥出新技术的优势，反而因为数字航摄像基线的缩短导致了外业控制测量工作量的增加。以 DMC 数字航摄仪为例，经测算，假设传统胶片航摄采用 1:8 000 的摄影比例尺，在航摄面积、像控点设计方案相同的情况下，若 DMC 也采用 1:8 000 的摄影比例尺，则外业像控点会增加 3 倍；若 DMC 采用 1:12 000 的摄影比例尺，则外业像控点大约增加 1 倍。随着数字航摄仪的大量使用，这一问题变得日益突出；

3) 从前胶片航摄仪的技术发展和更新换代, 其基本技术参数一般不变化。以 RC30 为例是从 RC10、RC20 功能不断升级改造而成, 其几何畸变值极小、分辨率高(镜头/胶片组合分解力高达 100 线对/毫米)、具有像移运动补偿、自动曝光控制、微机控制、外部计算机和 GPS 接口等功能, 带有陀螺稳定平台, 但是其像幅一直没有变化。但是当前, 各类数字航摄仪的基本技术参数差异较大, 且技术升级和发展很快, 难以找出规律, 并形成统一认知。因此, 数字航摄仪很难像胶片航摄仪一样提出稳定的像控点布点方案。

### 12.3 分析结论

从分析可以看出, 受测图成果精度限制, 数字航空摄影测量空三加密精度要求是固定、静态的, 不因技术和方法的发展而变化。其次, 布设方案(区域网大小和像控点间基线数)应在保证测图精度、满足要求的前提下, 最大限度地减少像控点, 以减轻外业的工作量, 提高投入产出比, 从而推动和加快数字测绘技术的应用和发展。此外, 空三加密精度受区域网形状、影像条件、像控点布设和点位、像控点精度、POS 系统精度的共同影响。因此, 为达到空三加密的固定精度要求, 像控点布点方案无法固定。同时, 随着技术和方法的进步, 特别是在当前各种新技术飞速发展的阶段, 布设要求也会变化。因此, 布设要求会随条件的变化而变化。

当前, 数字航空摄影测量沿用模拟摄影测量时代空中三角测量中航带法最弱点误差估算公式并不适合, 并且不利于标准对技术升级和新技术应用的支撑。其次, 数字航摄仪的差异性和多样性, 无法给出一个统一误差估算模型, 因此不能基于统一模型规定布设方案。此外, 像控点布设方案不具有稳定性和可推广性, 如果规定过于明确, 反而会限制各种先进技术和新工艺的应用。

本文件关于像控点布设给出一个较低的基本要求, 这也符合国标作为基本规定的理念。生产时可根据本文件所约定的精度要求, 根据自身数据、技术情况设计布设方案。



## 13 像控点测量

### 13.1 测量方法

按照相关标准及文献，像控点测量方法、要求等见表 14。

表 14 像控点测量方法与要求

| 资料来源                            | 像控点测量方法  | 像控点测量要求  |
|---------------------------------|--|--|
| GB 50167-2014 工程摄影测量规范          | 平面控制点可采用 GNSS、导线测量和极坐标测量等方法测量；像片高程控制点可采用水准测量、电磁波测距三角高程测量、GNSS 配合精化似大地水准面等方法测量。   | 像片控制点的测量应在测区控制网下进行，作业要求宜按现行国家标准《工程测量规范》GB 50026 有关图根控制测量的规定执行。 |
| GB/T 50026-XXXX 工程测量规范(征求意见稿)   | 采用导线测量、卫星定位测量或 RTK 测量方法。   | 图根点相对于邻近等级控制点点位中误差不大于图上 0.1mm，高程中误差不大于基本等高距的 1/10。             |
| GB/T 50537-2017 油气田工程测量标准       | 1) 平高控制点采用光电导线、GNSS-RTK；<br>2) 高程控制点采用光电测距高程导线、GNSS-RTK。   | 1) 平面位置中误差应小于地物点平面位置中误差的 1/5；<br>2) 高程中误差应小于基本等高距的 1/10。       |
| GB/T 50539-2017 油气输送管道工程测量规范    | 1) 平面点用 GNSS-RTK、全站仪导线测量；<br>2) 高程控制点用 GNSS-RTK 高程、全站仪三角高程测量。  |  |
| GB/T 40766-2021 数字航天摄影测量 控制测量规范 | 1) 外业像控点测量采用 GNSS 测量、三角锁、交会、附和导线、支导线、引点、三角高程测量、水准高程测量等方法；<br>2) 像控点平面坐标可采用 GNSS 静态、GNSS 双基站快速静态、GNSS RTK、GNSS 精密单点定位等方法进行测定。像控点高程可采用 GNSS 水准高程拟合、GNSS 高程精化、GNSS RTK 高程测量；<br>3) 优先使用 CORS 站网和区域似大地水准面精化成果。 |  |
| CJJ/T8-2011 城市测量规范              | 1) 平面控制点可采用图根导线、卫星定位、测角交会点和引点等方法；<br>2) 平地 and 丘陵地高程控制点宜采用水准测量、高程导线测量或卫星定位测量等方法，山地、高山地可采用经纬仪三角高程测量、卫星定位测量等方法。  | 附和路线长度不应大于 10km；   |

| 资料来源   | 像控点测量方法   | 像控点测量要求   |
|--|---|---|
| UCX 数码影像在 1:2000 大比例尺正摄影像图生产中的应用             | 个别外业实测困难的点位, 采用了双点测量的方法, 确保空三加密的需要。像控点观测采用 CORS 网络 RTK 定位方法, 高程测量采用 GNSS 拟合高程, 通过与测区已有三、四等水准点以及国家 C 级 GNSS 点联测, 解算并检核像控点高程。 |   |
| 航空摄影测量法生产数字线划图的精度分析                          | 一般采用 GNSS 连续运行跟踪站进行网络 RTK 测量  | 像控点平面位置中误差: 平地/丘陵地不大于 0.24m, 山地/高山地不大于 0.32m。像控点的高程中误差: 平地/丘陵地不大于 0.1m, 山地/高山地不大于 0.2m。 |
| 航空摄影测量技术在高标准基本农田建设项目中的应用研究                   | 像片控制点平面位置联测采用 GNSS 静态测量方法, 高程采用 GNSS 静态测量方法。  |   |
| 基于 IMU/GNSS 的航摄数据在 1:10000DLG 更新中像控点布设方案应用研究 | 将测区内的 C 级 GNSS 点作为基准站点, 采用 GNSS-PPK 模式进行像控点测量; 以 GNSS-PPK 方式施测得到像控点大地高, 利用区域似大地水准面精化模型进行计算, 求得像控点的正常高。                      | 像控点对附近高等级控制点的平面中误差不超过实地 1m。高程控制点对附近高等级控制点中误差平地不超过 0.1m、丘陵地不超过 0.25m、山地不超过 0.5m。         |
| 基于 UCX 数字航空影像的空三加密像控点布设方案探讨                  | 用网络 RTK 测量模式进行像控点的采集, 并且利用大地水准面模型进行高程转换, 平面和高程精度都优于 2cm。  |   |
| 浅论航空摄影测量中利用 CORS 测量像片控制点                     | CORS 技术进行像片控制测量。  |   |
| 浅谈铁路航测控制测量的应用                                | GPS 静态相对定位和快速静态相对定位; 网络 RTK 技术。   |   |
| 浅析航空摄影测量像控点的布设与测量                            | 采用 GPS 网、CORS 站(连续运行卫星定位服务系统), 双基准站、GPS RTK 等方法, 获取像控点平面位置与高程。  |   |
| 摄影测量外业控制点的布设与测量                              | 传统的施测方法通过布设导线、水准测量获得点位平面位置和高程, 施测精度要满足 GB/T 7931-2008。目前, 多采用 GNSS 网静态定位、GNSS-RTK 定位等方法。                                    |   |
| 数字摄影测量采集岩体结构面信息的控制测量方                        | 首级控制测量中采用导线测量、全站仪垂距测量法以及 GNSS-RTK, 次级控制测量采用空间极坐标测量法。  | RTK 测量技术在地形复杂的区域内能够满足一般控制测量中对一、二级导线和四等水准测量要   |

| 资料来源                              | 像控点测量方法  | 像控点测量要求                   |
|-----------------------------------|--|---------------------------|
| 法                                 |  | 求，成为数字摄影测量中控制测量的一种有效测量方法。 |
| 数字摄影测量技术在油气田地面建设中的应用              | GNSS 相对静态定位还是 GNSS-RTK 实时定位，应用于像控点的联测都可以获得良好精度。                            |                           |
| 数字摄影测量技术在油气田地面建设中的研究与应用           | 在提高线路控制网精度的方面, 适合于线路工程高程拟合的方法—拉格朗日插值拟合方法在像控测量中。                            |                           |
| 宜兴高铁新城 1:1000 航空摄影测量技术方案探讨        | 网络 RTK 技术。   |                           |
| 宜兴市桃花圩湿地控制测量及 1:1000 航空摄影测量技术方法探讨 | 像控测量利用 JSCORS 快速获取像控点的三维坐标。  |                           |
| 航空摄影测量像片控制点布设方法                   | 像控点的平面坐标和高程应以测区基本控制点成果为起算数据，采用 GNSS-RTK、全站仪方式进行联测，或与就近的 CORS 站采用 RTK 进行联测。 |                           |
| 地理信息资源建设工程 LiDAR 扫描并 DSM 制作       | RTK 实时动态定位模式   |                           |
| 基于 UCE 影像的像控网设计方案对空中三角测量精度的影响     | 网络 RTK 技术。   |                           |

## 13.2 分析与结论

当前，像控点测量既有采用 GNSS 测量，也有采用传统的三角锁、交会、附和导线、支导线、引点测量、三角高程测量、水准高程测量等传统测量方法，高程也有采用区域似大地水准面精化模型成果内插获得。并且，像控点测量以各种 GNSS 测量方法为主，以似大地水准面精化模型内插较为方便。因此，本文件推荐采用这些效率高、技术先进的方法，并对相关技术要求进行了规范。同时，也对仍在使用的传统方法进行了约定。

另一方面，当前一些数字航空摄影测量控制测量项目，从以前基础影像控制网中获得符合要求的像控点或者从基础影像控制网或已有 DOM 中判读或提取像控点，即所谓图解像控点在生产中也有很多应用，该方法减少了控制测量的工作量，加快了作业进程。因此，本文件也针对图解像控点规定了人工目视判读法和影像匹配提取法的技术要求。

## 14 像控点成果记录与标定

### 14.1 标定方法与要求

按照相关标准及文献，像控点标定方法与要求见表 15。

表 15 像控点标定方法与要求

| 资料来源                         | 标定和整饰的要求   |
|------------------------------|--|
| GB/T 50167-2014 工程摄影测量规范     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 控制片的刺点应在正面，航线间公用像片控制点应在相邻航线像片上转标，并应标注出刺点航线号和像片号，当非同一摄影分区时，前面应加分区号；</li> <li>2) 控制片反面整饰应在选点现场完成，刺点片的反面应加注简要的点位说明，并应加绘点位略图或剖面图。需要时可对点位拍摄。点位说明和点位略图指示方位时，应以像片号字头标定上、下、左、右，并使孔位、点位、说明、略图相一致。</li> <li>3) 像片刺点应刺透，孔径与刺点误差均不应大于 0.1mm。一人刺孔，应经另一人实地检查，不得出现双孔。当摄影像片比例尺较小时，宜局部放大像片后再选刺像片控制点。</li> </ol> |
| GB/T 50537-2017 油气田工程测量标准    | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 野外控制点以判点为主，刺点为辅；</li> <li>2) 平高控制点和平面控制点的点位精度为 1 个像素。</li> </ol>   |
| CJJ/T8-2011 城市测量规范           | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 平面控制点实地辨认误差应小于图上 0.1mm；</li> <li>2) 高程控制点应选刺在局部高程变化很小的地方；</li> <li>3) 选刺目标时应认真判读像片，以满足刺点目标要求为主，同时满足像控点布设的点位要求和兼顾联测的方便。</li> </ol>  |
| CH/T3004-2021 低空数字航空摄影测量外业规范 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 在数字影像上选点、标记，准确标示出刺点位置；</li> <li>2) 选点时，根据现场情况确认位置是否满足控制点刺点和观测要求；</li> <li>3) 对像片控制点测量成果进行检查、平差、坐标转换，坐标转换成果应使用未参与坐标转换参数计算的点位进行检核。</li> </ol>  |
| 航空摄影测量像片控制点布设方法              | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 像控点刺点采用电子刺点方式，即在真彩数码影像图上以 1cm×1cm 十字丝标注像控点位置，十字丝中心即为像控点目标位置。外围再用 5cm×5cm 正圆形加粗边框框定，下方加说明注记，注明点号、刺点位置及外业测量要求。保存像控点刺点图片，每个像控点一张刺点图片，供内业加密使用。每个像控点应制作点位的局部影像放大图电子文档，</li> </ol>   |

| 资料来源                 | 标定和整饰的要求   |
|----------------------|--|
|                      | 放大图中应能清楚识别确切的点位，以便内业加密时判别具体位置。每个像控点建立影像截图和实地照片及成果表的对应档案。<br>2) 像片控制点的目标影像应清晰，易于准确判读和立体量测。交角良好（30°—150°）的细小线状地物交点、明显地物拐角点、原始影像中不大于5×5像素的点状地物中心都是理想的像控点选择的目标。同时应注意高程起伏较大、位置可能不固定和弧形地物等不应选作点位目标。高程控制点点位目标应选在平面位置能准确判读和局部平缓的地方，以线状地物的交点和平山头为宜。 |
| 航空摄影测量野外像控点布设方案与测量方法 | 照片控制点以判点为主，刺点为辅，概刺概标。刺点形式以内业易判、易读、准确为原则。像控点的刺点、点位说明在实地进行，并经第二人实地检查。  |

## 14.2 分析与结论

由于数字摄影测量时代，像控点刺点主要以在影像上标记为主，因此本文件将这种以电子文件为载体进行的像控点标记（有时称为“电子刺点”）称为像控点标定。同时，多数标准有像控点标定误差应小于图上0.1mm的要求，因此本文件对此进行了约定。

### 四 采用国际标准和国外先进标准的程度及与国际、国外同类标准水平的对比（或与测试的国外样品、样机的有关数据对比）

经国家标准共享服务平台检索，尚未有相关国际标准、他国国家标准记录情况。

### 五 与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本标准依据《中华人民共和国测绘法》为主要技术依据，与 GB/T 23236《数字航空摄影测量 空中三角测量》、GB/T 27920.1-2011《数字航空摄影规范 第1部分：框幅式数字航空摄影》、GB/T 27920.2-2012《数字航空摄影规范 第2部分：推扫式数字航空摄影》、GB/T 27919-2011《IMU/GPS 辅助航空摄影技术规范》规定协调一致。

### 六 重大分歧意见的处理经过和依据

无。

## 七 标准作为强制性标准或推荐性标准的建议

建议作为推荐性国家标准实施。

## 八 贯彻标准的要求和措施建议

为使本标准能被准确、一致理解，并得到实际的广泛应用，建议本标准在颁布实施后，开展相应的标准宣贯和培训工作，使标准使用单位和人员正确理解标准的技术内容；建议相关部门在开展数字航空摄影测量的控制测量时主动、积极依据本标准开展相关工作。

编写组将根据有关安排，积极做好标准的宣贯培训工作。

## 九 废止现行有关标准的建议

无。

## 十 其他应予说明的事项

无。

国家标准《数字航空摄影测量 控制测量规范》起草组  
2022年05月