ICS 07.040
A 77

中华人民共和国国家标准

GB/T 23236— 20XX
代替GB/T 23236—2009

数字航空摄影测量 空中三角测量规范

Specifications for aerotriangulation of digital aerial photographmmetry

（征求意见稿）

20XX-XX-XX 发布　　20XX-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局
中国国家标准化管理委员会　发布

目 次

前言 II
引言 III
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 基本规定 2
4.1 空间参考 2
4.2 影像控制资料 2
4.3 航空摄影资料 2
4.4 精度指标 3
4.5 框幅式数字航摄影像定向参数 5
5 准备工作 5
5.1 资料收集 5
5.2 资料分析 5
5.3 技术设计 6
6 测量方法 6
7 作业流程 6
7.1 框幅式胶片航空摄影空中三角测量作业流程 6
7.2 框幅式数字航空摄影空中三角测量作业流程 8
8 技术要求 8
8.1 航摄底片扫描 8
8.2 构建平差区域网 8
8.3 数据预处理 9
8.4 影像内定向 9
8.5 连接点量测 9
8.6 像控点量测 9
8.7 自由网平差 9
8.8 光束法区域网平差 9
9 质量控制 10
9.1 基本要求 10
9.2 过程质量控制 10
10 成果整理及上交 11
10.1 成果整理 11
10.2 成果上交 11
附录 A （规范性附录） 航空摄影立体测图精度估算 12
附录 B （规范性附录） 像方坐标系定义、像点坐标变换、旋转矩阵和中心投影共线方程式 13
附录 C （规范性附录） 框幅式数字航摄影像定向参数属性项定义、数据内容及记录格式要求 16
附录 D （规范性附录） 航摄底片扫描技术要求 19

前　言

本标准代替 GB/T 23236-2009《数字航空摄影测量 空中三角测量规范》。本标准与 GB/T 23236-2009 相比主要变化如下：

——修改了标准的适用范围；

——增加了术语和定义；

——增加了航摄影像地面分辨率的规定；

——修正了上一版本标准中区域网平差要求中存在的错误。将上一版标准表 3 表头中的“平面位置中误差”和“高程中误差”修正为“平面位置限差”和“高程限差”；

——增加了部分精度放宽规定。增加了放宽平地、丘陵地空中三角测量和区域网平差精度的规定，增加了仅生产 DOM 产品时放宽平地、丘陵地空中三角测量和区域网平差精度的规定，增加了放宽像方平差精度的规定；

——修改了检查点中误差计算公式；

——删除了区域网之间公共点精度估算公式；

——删除了上一版标准中有关模型连接较差的要求；

——修改了空中三角测量成果的内容，并对成果的格式进行了标准化规定。将空中三角测量成果的内容修改为框幅式数字航摄影像定向参数，对框幅式数字航摄影像定向参数进行了标准化定义；

——修改了上一版标准中的作业流程：相对定向和模型连接修改为连接点量测和自由网平差；绝对定向修改为区域网平差；

——修改了平差区域网接边的相关规定；

——增加了附录 A 航空摄影立体测图精度估算公式；

——增加了附录 B 像方坐标系定义、像点坐标变换、旋转矩阵和中心投影共线方程式；

——增加了附录 C 框幅式数字航摄影像定向参数属性项定义、数据内容及记录格式要求；

——将上一版标准附录 A 和附录 B 合为附录 D 航摄底片扫描技术要求。

本标准的起草规则依据 GB/T 1.1-2009。

本标准由中华人民共和国自然资源部提出并归口。

本标准起草单位：

本标准主要起草人：

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

——GB/T 23236-2009。

引　言

本标准基于数字摄影测量当前的技术特征对航空摄影测量的关键步骤——空中三角测量进行了技术约定和作业过程指导。本标准只针对目前空中三角测量应用各类新技术后工艺技术、生产作业等方面发生变化的部分，而未发生变化的部分如果需要使用旧的技术手段，则可以继续应用GB/T 7930-2008《1:500　1:1 000　1:2 000 地形图航空摄影测量内业规范》、GB/T 13990-1992《1:5 000　1:10 000 地形图航空摄影测量内业规范》、GB/T 12340-2008《1:25 000　1:50　000　1:100 000 地形图航空摄影测量内业规范》中相关部分的技术要求（如胶片摄影冲洗处理等），而不在本标准中重复规定。

数字航空摄影测量 空中三角测量规范

1 范围

本标准规定了数字航空摄影测量生产中空中三角测量的作业流程、技术要求及成果格式。

本标准适用于由常规航空摄影方法获取的框幅式数字航摄影像在空中三角测量阶段的生产作业。其他非常规航空摄影方法获取的数字航摄影像，以及推扫式数字航摄影像在空中三角测量阶段涉及的精度要求可参照本标准执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有修改单）适用于本文件。

GB/T 15661　1:5 000、1:10 000、1:25 000、1:50 000、1:100 000 地形图航空摄影规范

GB/T 18316　数字测绘成果质量检查与验收

GB/T 24356　测绘成果质量检查与验收

GB/T 27919　IMU/GNSS 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

CH/T 1001　测绘技术总结编写规定

CH/T 1004　测绘技术设计规定

CH/T 3006　数字航空摄影测量 控制测量规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

常规航空摄影 conventional aerial photographmmetry

采用有人驾驶航摄飞机搭载量测型航空摄影相机（简称“航摄相机”），按照地形图航空摄影规范进行的空中摄影。

3.2

数字航摄影像 digital aerial image

以数字方式记录的航摄影像。由面阵数码相机直接获取的数字航摄影像，以及由胶片航摄相机拍摄在胶片上的图像经过像片扫描获得的数字化航摄影像称为框幅式数字航摄影像；由线阵数码相机按推扫式成像直接获取的数字航摄影像称为推扫式数字航摄影像。

3.3

摄站点信息 camera station information

在航空摄影过程中，利用机载定位设备和定姿设备获取的航摄相机曝光瞬间摄站点（摄影中心）空间位置和影像姿态角的信息。

一般由机载 GNSS 接收机获取摄站点空间位置，由机载 IMU 装置获取影像姿态信息。

3.4

数字航摄影像定向参数 orientation parameters of aerial digital image

描述数字航摄影像在成图坐标系中空间位置和姿态角的参数。框幅式数字航摄影像定向参数以影像的内、外方位元素来表达。影像的内方位元素是确定摄影中心与影像相对位置关系的参数，由像主

点坐标和航摄影像主距组成;影像的外方位元素是确定摄影中心与影像在摄影瞬间的空间位置的参数，由 3 个线元素（摄影中心在成图坐标系中的三维坐标）和 3 个角元素（航摄相机主光轴在摄影瞬间的空中姿态角）组成。本规范不直接规定 3 个角元素，而是规定由像方到物方空间直角坐标系转换正交的旋转矩阵元素。

3.5

像控点 image control point

位于影像特定位置和特定目标上，具有成图坐标系中坐标信息的控制点。采用野外实地测量获得点位三维坐标的像控点称为外业像控点；在已有基础地理信息成果中提取点位三维坐标的像控点称为图解像控点；在空中三角测量中，用于解算影像定向参数而布设在特定位置的必要数量的像控点称为基本定向点；用于检查成果正确性的像控点称为检查点（本规范中是指用于评定空中三角测量精度的像控点）。

3.6

连接点 tie point

能够构建立体模型或建立相邻模型（影像）之间连接关系的同名像点。采用空中三角测量方法解求出点位三维坐标的连接点称为加密点；相邻平差区域网之间共同存在同一影像目标的加密点称为区域网间公共点（简称“公共点”）； 用于检查下道工序产品正确性的点称为备查点（本规范中是指在空中三角测量阶段获取的，用于检查基础地理信息产品（数字表面模型（DSM）、数字高程模型（DEM）、数字正射影像图（DOM）、数字线划图（DLG））精度的加密点。

3.7

光束法区域网平差 bundle block adjustment

以中心投影共线方程式作为平差的函数模型，以一幅影像组成的一束光线作为平差的基本单元，通过各个光线束在空间的缩放、旋转和平移，使区域网内各影像之间的公共光线实现最佳交会，并使用最小二乘法使整个区域最佳地纳入到控制点坐标系中去的摄影测量区域网平差方法。

4 基本规定

4.1 空间参考

一般情况下，平面坐标系采用 2000 国家大地坐标系，高斯—克吕格投影，1:500、1:1 000、1:2 000、1:5 000、1:10 000 按 3° 分带，1:25 000、1:50 000、1:100 000 按 6° 分带。高程基准采用 1985 国家高程基准。

特殊情况下，可根据成图需要使用专业设计书中规定的平面坐标系、高程基准、投影和分带方式。

4.2 影像控制资料

4.2.1 外业像控点资料

外业像控点精度、点位分布及成果应符合 CH/T 3006 的规定。

4.2.2 图解像控点资料

图解像控点的精度应不低于相应成图比例尺加密点的精度要求，点位分布应符合 CH/T 3006 的规定。

4.3 航空摄影资料

4.3.1 基本要求

航空摄影资料应满足以下基本要求：

a） 采用胶片相机航空摄影时，1:500、1:1 000、1:2000 航摄资料参照 GB/T 15661 的规定，1:5 000、1:10 000、1:25 000、1:50 000、1:100 000 航摄资料应符合 GB/T 15661 的规定；
b） 采用数码相机航空摄影时，航摄资料应符合 GB/T 27920.1 的规定；
c） 采用 IMU/GNSS 辅助航空摄影时，航摄资料应符合 GB/T 27919 的规定。

4.3.2 航摄影像

航摄影像应满足以下要求：
a） 全色影像辐射分辨率不应小于 8bit，灰度直方图基本呈正态分布，影像反差适中，色调基本一致，纹理清楚，层次丰富；
b） 彩色影像辐射分辨率不应小于 24bit，饱和度等级不小于 10 级，色彩还原真实准确，不失真，无偏色，影像之间色调基本一致；
c） 影像清晰，细节完整，由多镜头航空相机获取的影像拼接处过渡自然，不影响像点观测；
d） 数字航摄影像应为畸变差改正后的影像产品；
e） 航摄影像地面分辨率应满足成图精度的要求，按照成图比例尺的不同，影像地面分辨率应优于表 1 中规定的指标。

表 1 航摄影像地面分辨率

单位为米

成图比例尺	地面分辨率
1:500	0.05
1:1 000	0.1
1:2 000	0.2
1:5 000	0.5
1:10 000	1.0
1:25 000	2.5
1:50 000	5.0
1:100 000	10.0

4.4 精度指标

4.4.1 空中三角测量精度

4.4.1.1 空中三角测量精度以区域网平差后加密点的精度来衡量。加密点对最近野外控制点的平面位置中误差和高程中误差不应大于表 2 的规定。加密点中误差一般采用检查点的中误差进行估算。

表 2 加密点对最近野外控制点的平面位置和高程中误差

单位为米

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	0.175	0.175	0.25	0.25	0.15	0.28 （0.15）	0.35	0.5
1:1 000	0.35	0.35	0.5	0.5	0.28 （0.15）	0.35	0.5	1.0
1:2 000	0.7	0.7	1.0	1.0	0.28 （0.15）	0.35	0.8	1.2
1:5 000	1.75	1.75	2.5	2.5	0.3	1.0	2.0	2.5
1:10 000	3.5	3.5	5.0	5.0	0.3	1.0	2.0	3.0
1:25 000	8.75	8.75	12.5	12.5	1.0	1.5	2.0	3.5
1:50 000	17.5	17.5	25.0	25.0	2.0	3.0	4.0	7.0
1:100 000	35.0	35.0	50.0	50.0	4.0	6.0	8.0	14.0
注：表中加括号处为 0.5 米等高距的高程中误差。								

4.4.1.2 特殊困难地区（大面积沙漠、戈壁、沼泽、森林等）的平面和高程中误差可按表 2 规定放宽至 1.5 倍，应在技术设计书中明确规定。

4.4.1.3 最大误差为两倍中误差。

4.4.1.4 1:500 1:1 000 1:2 000 1:5 000 1:10 000 成图时，平地、丘陵地无论是否采用高程全野外布设像控点，按附录 A 估算出的高程中误差不能满足表 2 规定的精度时，可放宽精度指标，但应在专业设计书中明确规定，并采用相应技术手段保证最终相应产品的高程精度。

4.4.1.5 仅生产 DOM 产品时，平地、丘陵地高程中误差可放宽至 2 倍。

4.4.1.6 检查点平面位置和高程中误差分别按公式（1）、（2）计算。

$$m_s = \pm\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2\right)}{n}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

$$m_h = \pm\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\Delta h_i^2\right)}{n}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

式中：

m_s、m_h——检查点平面位置、高程中误差，单位为米（m）；

Δx_i、Δy_i ——检查点平面 x、y 坐标的实测值与解算值的较差，单位为米（m）；

Δh_i ——检查点高程实测值与解算值的较差，单位为米（m）；

n ——参与评定精度的检查点点数。

4.4.2 平差精度

4.4.2.1 像方平差精度

a） 影像自动匹配的连接点像点坐标残差中误差不应大于 1/3 个像素，最大残差不应大于 1 个像素，但允许有不超过 5%的连接点的像点坐标残差大于 1 个像素而小于 1.5 个像素；

b） 像控点和人工判读/量测的连接点像点坐标残差中误差不应大于 0.5 个像素，最大残差不应大于 1.5 个像素；

c） 特殊资料或特别困难地区可按以上规定放宽至 1.5 倍。

4.4.2.2 物方平差精度

4.4.2.2.1 区域网平差计算后，基本定向点残差、检查点误差、区域网间公共点较差的限差不应大于表 3 的规定。

表 3 基本定向点残差、检查点误差、公共点较差最大限差 单位为米

成图比例尺	点别	平面位置限差				高程限差			
		平地	丘陵地	山地	高山地	平地	丘陵地	山地	高山地
1:500	基本定向点	0.13	0.13	0.2	0.2	0.11	0.2（0.11）	0.26	0.4
	检查点	0.175	0.175	0.35	0.35	0.15	0.28（0.15）	0.4	0.6
	公共点	0.35	0.35	0.55	0.55	0.3	0.56（0.3）	0.7	1.0
1:1 000	基本定向点	0.3	0.3	0.4	0.4	0.2（0.11）	0.26	0.4	0.75
	检查点	0.5	0.5	0.7	0.7	0.28（0.15）	0.4	0.6	1.2
	公共点	0.8	0.8	1.1	1.1	0.56（0.3）	0.7	1.0	2.0
1:2 000	基本定向点	0.6	0.6	0.8	0.8	0.2（0.11）	0.26	0.6	0.9
	检查点	1.0	1.0	1.4	1.4	0.28（0.15）	0.4	1.0	1.5
	公共点	1.6	1.6	2.2	2.2	0.56（0.3）	0.7	1.6	2.4
1:5 000	基本定向点	1.5	1.5	2.0	2.0	0.22	0.8	1.5	1.9
	检查点	1.75	1.75	2.5	2.5	0.3	1.0	2.0	2.5
	公共点	3.5	3.5	5.0	5.0	0.6	2.0	4.0	5.0

1:10 000	基本定向点	3.0	3.0	4.0	4.0	0.22	0.8	1.5	2.2
	检查点	3.5	3.5	5.0	5.0	0.3	1.0	2.0	3.0
	公共点	7.0	7.0	10.0	10.0	0.6	2.0	4.0	6.0
1:25 000	基本定向点	6.5	6.5	9.5	9.5	0.8	1.1	1.5	2.6
	检查点	8.75	8.75	12.5	12.5	1.0	1.5	2.0	3.5
	公共点	17.5	17.5	25.0	25.0	2.0	3.0	4.0	7.0
1:50 000	基本定向点	13.0	13.0	19.0	19.0	1.5	2.2	3.0	5.2
	检查点	17.5	17.5	25.0	25.0	2.0	3.0	4.0	7.0
	公共点	35.0	35.0	50.0	50.0	4.0	6.0	8.0	14.0
1:100 000	基本定向点	26.0	26.0	38.0	38.0	3.0	4.5	6.0	10.5
	检查点	35.0	35.0	50.0	50.0	4.0	6.0	8.0	14.0
	公共点	70.0	70.0	100.0	100.0	8.0	12.0	16.0	28.0
注 1：基本定向点残差限差约为加密点中误差的 0.75 倍，检查点误差限差为加密点中误差的 1.0 倍，区域网间公共点较差限差为加密点中误差的 2.0 倍。 注 2：表中加括号处为 0.5 米等高距的精度要求。									

4.4.2.2.2 特殊困难地区（大面积沙漠、戈壁、沼泽、森林等）的平面和高程限差均可按表 3 中规定放宽至 1.5 倍，应在技术设计书中明确规定。

4.4.2.2.3 1:500 1:1 000 1:2 000 1:5 000 1:10 000 成图时，平地、丘陵地按 4.4.1.4 放宽高程精度时，区域网平差后平地、丘陵地高程限差可按表 3 注 1 的要求放宽精度指标，但应在专业设计书中明确规定，并采用相应技术手段保证最终相应产品的高程精度。

4.4.2.2.4 仅生产 DOM 产品时，平地、丘陵地高程限差可放宽至 2 倍。

4.5 框幅式数字航摄影像定向参数

4.5.1 框幅式数字航摄影像定向参数以影像的内外方位元素来表达。内外方位元素中所涉及的像方坐标系定义、像点坐标变换、旋转矩阵和中心投影共线方程式见附录 B。

4.5.2 框幅式数字航摄影像定向参数文件以空中三角测量平差区域网为单位进行组织，即将一个平差区域网中全部影像的定向参数写在一个 XML 文件中，将文件命名为“***测区***区域网_ori. xml”。影像定向参数属性项定义、数据内容及记录格式要求按附录 C 执行。

5 准备工作

5.1 资料收集

5.1.1 影像控制资料

收集的影像控制资料包括测区基础控制测量和像片控制测量的全部成果资料及技术设计、总结文档等相关资料。

5.1.2 航空摄影资料

收集的航空摄影资料主要包括：

a） 胶片航摄相机获取的航摄底片或数码航摄相机获取的影像数据；

b） 测区航摄略图，包括航摄分区划分、航线分布、图幅分幅；

c） 测区像片索引图、航摄分区航线、中心点结合图；

d） 航摄相机检定表；

e） 辅助航摄资料，包括摄站点坐标、像片姿态角、GNSS 数据等相关的数据或资料；

f） 航摄质量验收报告；

g） 其他有关资料。

5.2 资料分析

5.2.1 查看控制测量成果验收报告以及技术设计书，分析控制测量的基本情况，包括像片控制点的数量、分布、目标点位情况等。

5.2.2 查看成果验收报告，分析航摄资料的基本情况，包括航摄单位、航摄时间、航摄飞行记录表、

航摄相机检定表、航空摄影比例尺、飞行航高、分区范围、影像重叠度、航摄覆盖率等，并检查以下内容：

a） 摄影质量：摄影质量是否满足 4.3.1 中的规定；
b） 飞行质量：航摄比例尺、相对航高、像片重叠、航偏角、航线弯曲度、航高差、影像覆盖情况是否满足 4.3.1 要求；
c） 航摄相机检定资料：航摄相机的焦距、畸变差、像素大小、像幅尺寸是否完整、可靠，航摄日期是否满足航摄相机检定日期 4.3.1 的规定；
d） 航摄影像是否满足 4.3.1、4.3.2 的规定；
e） 辅助航摄资料：摄站点坐标、像片姿态角、IMU 检校参数、GNSS 数据等是否完整，精度是否满足 4.3.1 c)的规定；摄站点坐标采用的坐标系统、分析摄站点坐标、像片姿态角使用的方法及可供使用的程度。

5.3 技术设计

5.3.1 项目设计和专业设计中涉及空中三角测量时，应满足本标准规定的各项技术要求，特殊情况不能达到时应明确说明原因，并通过项目管理部门的审核批准。
5.3.2 项目设计书、专业设计书的编写要求及主要内容符合 CH/T 1004 要求。

6 测量方法

6.1 航空空中三角测量分为无摄站点信息空中三角测量、GNSS 辅助空中三角测量、IMU/GNSS 辅助空中三角测量三种方法。
6.2 当航空摄影时没有获取摄站点信息，或者获取的摄站点信息不可靠时，应采用无摄站点信息空中三角测量方法；当航空摄影时仅利用 GNSS 设备获取了摄站点三维坐标时，可采用 GNSS 辅助空中三角测量方法；当航空摄影时利用机载 IMU 和 GNSS 设备同时获取了摄站点三维坐标和影像姿态参数时，可采用 IMU/GNSS 辅助空中三角测量方法。

7 作业流程

7.1 框幅式胶片航空摄影空中三角测量作业流程

框幅式胶片航空摄影空中三角测量作业流程见图 1。

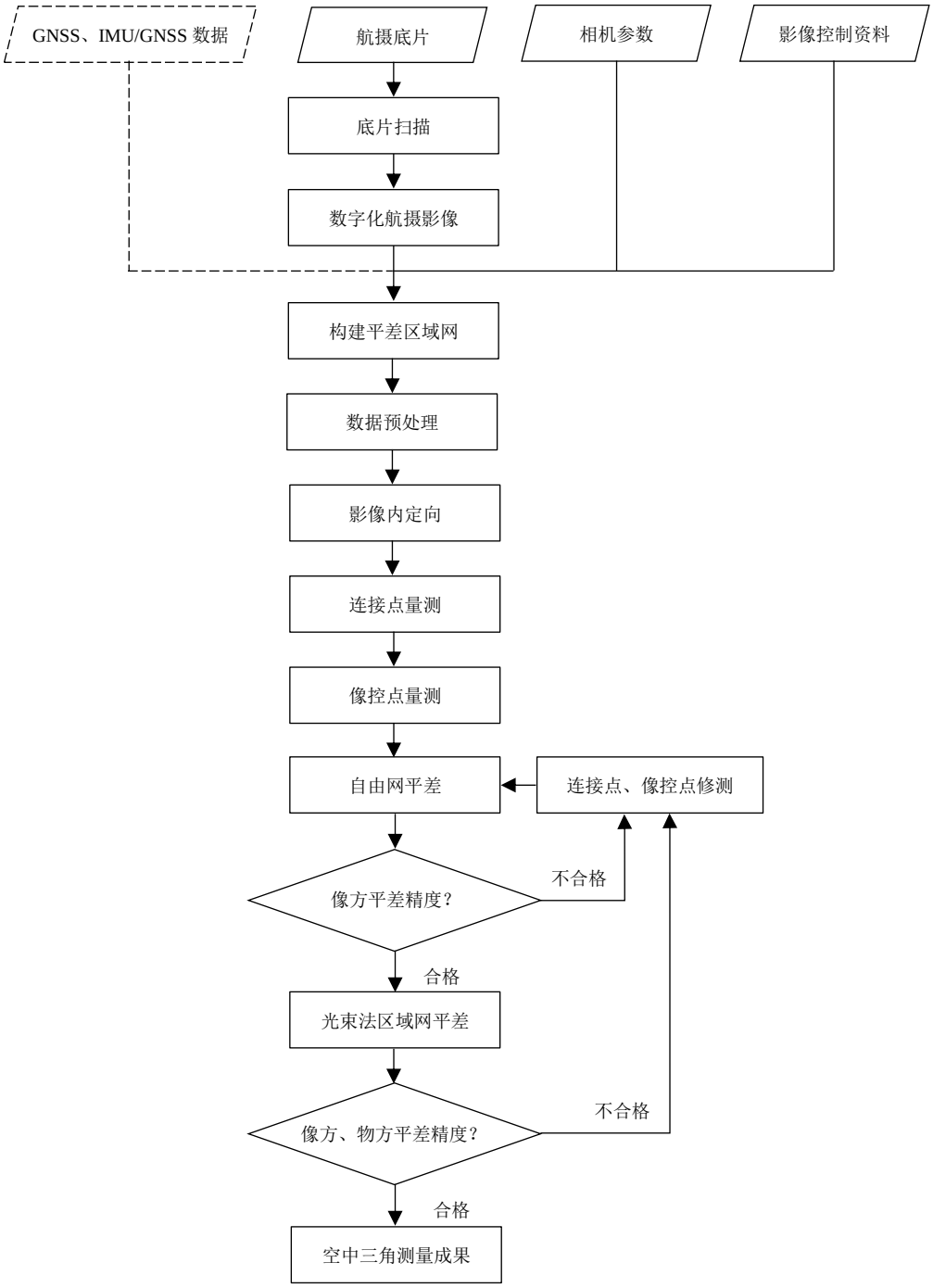

图 1 框幅式胶片航空摄影空中三角测量作业流程

7.2 框幅式数字航空摄影空中三角测量作业流程

框幅式数字航空摄影空中三角测量作业流程见图 2。

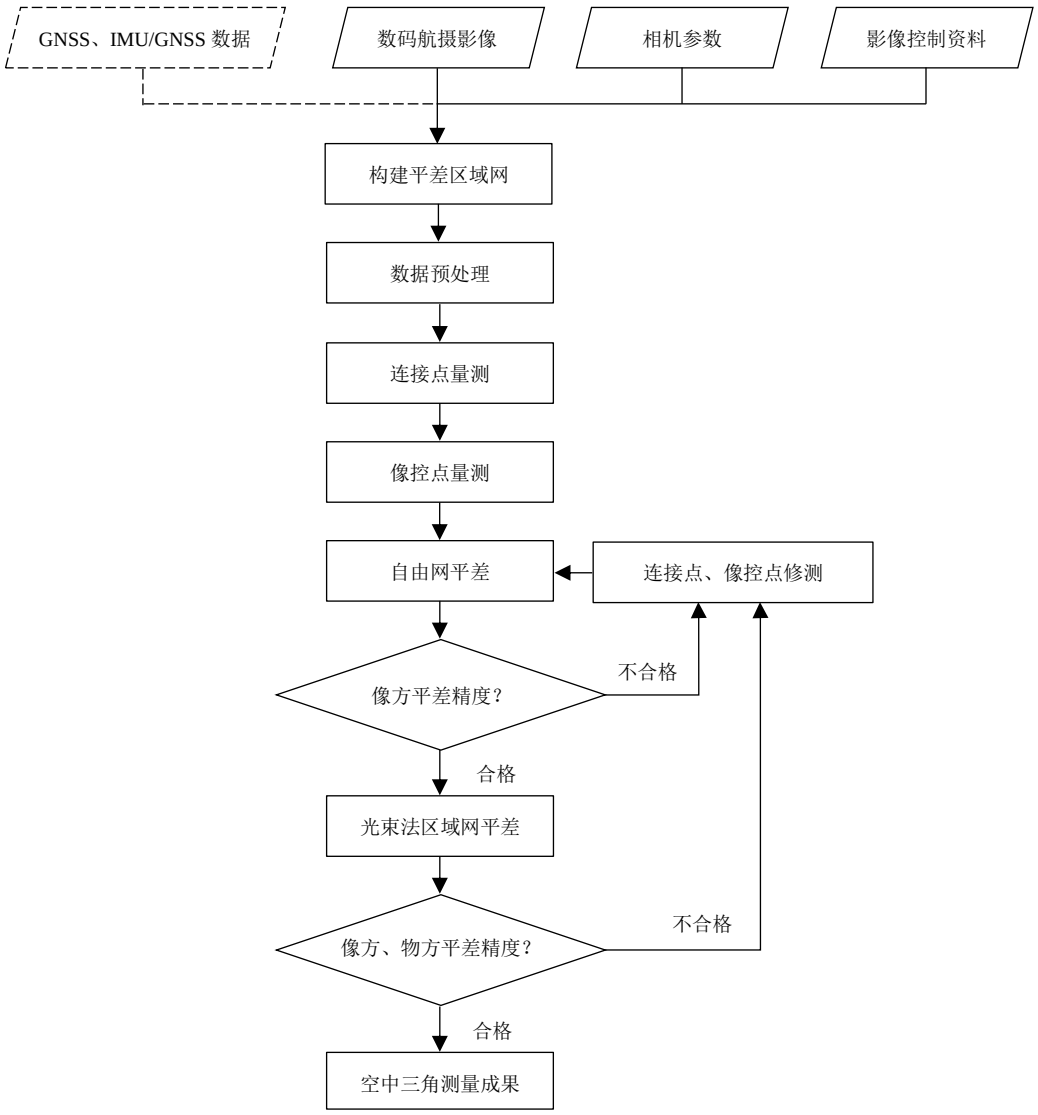

图 2 框幅式数字航空摄影空中三角测量作业流程图

8 技术要求

8.1 航摄底片扫描

航摄底片扫描技术要求按附录 D 执行。

8.2 构建平差区域网

8.2.1 在同一测区、同一投影带内，可将外业布设像控点划分的区域网合并组成一个或多个平差区域网。

8.2.2 不同航摄分区、不同地面分辨率的航摄影像可组成一个平差区域网，但同一个平差区域网内的影像地面分辨率差异不应大于 2 倍。

8.2.3 将整个测区划分为多个平差区域网时，相邻区域网之间应有足够的重叠区域。一般情况下，相邻区域网之间航线方向至少重叠 2 条基线，在旁向至少向外扩出一条航线。

8.3 数据预处理

8.3.1 航摄影像预处理

8.3.1.1 根据需要将影像数据格式转换为非压缩 TIFF 格式。
8.3.1.2 根据需要将影像进行旋转变换，保持影像方向与航摄时方向一致。

8.3.2 像控点坐标预处理

将像控点大地坐标（地面测量坐标）转换为地面摄影测量坐标，即将 x、y 坐标互换。

8.3.3 摄站点坐标预处理

8.3.3.1 按照成图规定的空间参考，将摄站点坐标进行平面坐标投影转换和高程基准转换，获得摄站点在成图坐标系中的大地坐标。
8.3.3.2 将摄站点大地坐标（地面测量坐标）转换为地面摄影测量坐标，即将 x、y 坐标互换。

8.4 影像内定向

8.4.1 胶片数字化航摄影像应利用相机检定参数进行内定向，内定向一般应采用量测 4 框标解算仿射变换参数进行影像变形改正和像方坐标的转换，仿射变换公式按附录 B 公式 B.1 执行。
8.4.2 内定向量测框标坐标残差绝对值一般不应大于 0.010mm，最大不超过 0.015mm。
8.4.3 内定向框标坐标残差超限时，应分析原因，采取补救措施，如重测、重新扫描影像等。
8.4.4 数码航摄影像不做内定向，但应按附录 B 公式 B.2 进行像方坐标转换，按公式 B.3 计算仿射变换参数。

8.5 连接点量测

8.5.1 连接点一般采用影像自动匹配和人工判读/量测两种方法获取。
8.5.2 人工判读/量测的连接点应位于影像清晰、特征明显、反差较大、易于转刺和量测的固定目标上。
8.5.3 连接点宜均匀分布于模型内和相邻模型重叠区内，除区域网边缘外，航向连接点不宜少于 3 度重叠，旁向连接点不宜少于 6 度重叠。影像航向、旁向重叠度较大时，连接点的重叠度应至少为理论重叠度的 75%以上。应尽可能减少 2 度重叠的连接点的数量。
8.5.4 优先采用影像自动匹配连接点，每个模型内影像自动匹配的连接点数量应大于 30 个，且均匀分布。当影像自动匹配的连接点分布不均匀、数量不足以及在标准点位缺少连接点时，应采用人工判读/量测方法补测连接点。
8.5.5 根据需要选取、量测备查点，备查点的数量、目标要求和编号规则在专业设计书中明确规定。

8.6 像控点量测

参照像控点点之记将像控点量测至相应影像目标上。

8.7 自由网平差

8.7.1 自由网平差计算时对连接点进行像方粗差点检测，删除影像自动匹配的连接点中的粗差点。因删除粗差点引起的标准点位缺少连接点时，应采用人工判读/量测方法补测连接点。反复进行自由网平差计算和粗差点剔除、连接点补测，直到像方平差精度满足 4.4.2.1 的要求。
8.7.2 当将不同地面分辨率的航摄影像构建在同一个平差区域网时，不同地面分辨率航摄影像之间的连接点、像控点、检查点的像点残差按低分辨率影像指标执行。

8.8 光束法区域网平差

8.8.1 光束法区域网平差时对连接点、像控点、检查点进行粗差点检测，删除影像自动匹配的连接点中的粗差点。因删除粗差点引起的标准点位缺少连接点时，应采用人工判读/量测方法补测连接点。对人工判读/量测的连接点、像控点、检查点中的粗差点进行检查、修测。反复进行区域网平差计算和粗

差点剔除、连接点补测或修测，直到像方平差精度和物方平差精度均满足 4.4.2 的要求。

8.8.2 同一平差区域网覆盖的图幅存在多种地形类别时，区域网平差后基本定向点残差、检查点误差、公共点较差限差按点位所在图幅的地形类别所要求的精度执行。

8.8.3 采用 GNSS、IMU/GNSS 辅助空中三角测量时，应导入 GNSS 摄站点坐标、IMU 影像姿态角进行联合平差，并应注意 GNSS 天线分量、IMU 偏心角系统检校值。特别注意，当补飞航线与原航线不是同一架次飞行时，不应作为一条航带进行平差。

8.8.4 平差区域网接边精度应满足以下要求：

a） 平差区域网接边精度检查仅限于系列比例尺范围之内（如 1:5 000、1:10 000），隔系列比例尺（如：1:10 000 与 1:25 000）的区域网不做接边检查；

b） 利用网间公共点进行平差区域网接边精度检查。平差区域网接边处每张影像上至少有一个公共点；

c） 相同成图比例尺、相同地形类别的网间公共点，平面和高程较差不大于 4.4.2.2 的规定；

d） 相同成图比例尺、不同地形类别的网间公共点，平面位置较差不大于 4.4.1 中表 2 规定的两种地形类别加密点平面位置中误差之和，高程较差不大于表 4.4.1 中表 2 规定的两种地形类别加密点高程中误差之和；

e） 不同成图比例尺的网间公共点，平面位置较差不大于 4.4.1 中表 2 规定的加密点平面位置中误差之和，高程较差不大于表 2 规定的加密点高程中误差之和；

f） 不同投影带的平差区域网接边精度检查时，应将公共点换算到同一投影带；

g） 当平差区域网接边精度满足上述要求时，不进行网间接边，由区域网接边精度引起的误差，在下工序生产过程中合理消除；当平差区域网接边精度不能满足上述要求时，应认真检查分析原因，重新计算，直到满足要求为止。

8.8.5 区域网平差计算检查合格后，输出影像定向参数。

9 质量控制

9.1 基本要求

根据项目需要进行空中三角测量成果的自查互检，要求如下：

a） 作业员分阶段进行全数自查或互检；

b） 应进行二级检查、一级验收。

9.2 过程质量控制

过程质量可分阶段进行检查：

a） 资料采用

核查基础资料的采用是否正确。核查内容包括：

——原始航摄影像分辨率、影像质量、影像重叠度、GNSS 数据及 IMU 是否符合要求；

——像控点精度是否满足项目要求，采用的像控点（基本定向点）是否完全覆盖测区范围，基本定向点、检查点坐标是否正确，基本定向点、检查点分布是否符合设计要求；

——区域网分区是否合理；

——影像附属资料是否完整、正确。

b） 区域网分区

核查区域网分区是否符合 8.2 的规定。

c） 选点与量测

核查连接点位置及分布合理性和像点量测的准确性。核查内容包括：

——连接点位置及分布是否符合设计要求；

——像点量测准确性是否符合设计要求。

d） 平差计算

核查平差计算后各项精度指标是否符合设计要求。核查内容包括：基本定向点残差、检查点较差、像点坐标残差中误差和最大残差、区域网间公共点接边中误差等指标是否符合设计要求。

e） 资料质量

对照技术设计要求，核查成果资料是否完整，成果形式、数据组织、数据格式、文件命名、数据内容等是否符合要求。

10 成果整理及上交

10.1 成果整理

10.1.1 空中三角测量成果

以平差区域网为单位整理空中三角测量成果，成果内容包括数字航摄影像数据及影像定向参数文件、平差区域网、像控点、检查点分布略图、平差报告、备查点成果表及小影像文件等。

10.1.2 编写技术报告

按 CH/T 1001 要求编写技术总结，按 GB/T 18316 要求编写检查报告。

10.2 成果上交

上交成果包括以下内容：

a） 成果清单；

b） 空中三角测量区域网平差使用的数字航摄影像数据文件（*.tif）（即：如果在空中三角测量的数据预处理作业过程中对影像进行过旋转等预处理，则应提交预处理后的影像，以保证影像与影像定向参数的一一对应），影像定向参数文件（*_ori.xml）；

c） 平差区域网、像控点、检查点、公共点分布图；

d） 区域网平差报告；

e） 备查点成果表及小影像文件；

f） 技术设计书；

g） 技术总结；

h） 检查报告；

i） 其他相关资料。

附　录　A
（规范性附录）
航空摄影立体测图精度估算

航空摄影立体测图精度估算按公式（A.1）、（A.2）计算。

$$\text{平面中误差} = \pm 3 \times \mathrm{GSD} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{（A.1）}$$

$$\text{高程中误差} = \pm \frac{\frac{2}{3} \times GSD}{\text{基高比}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{（A.2）}$$

式中：

GSD ——航摄影像地面分辨率，单位为米（m）。

附　录　B
（规范性附录）
像方坐标系定义、像点坐标变换、旋转矩阵和中心投影共线方程式

B.1 像方坐标系定义

根据影像上的像点位置确定相应地面点的空间位置，应建立一系列坐标系描述像点和地面点间的关系，以从像方坐标量测值解求相应点在物方的坐标。本规范规定了部分摄影测量坐标系和坐标值表示要求，以定义统一标准格式的框幅式数字航摄影像定向参数，其他没有规定的坐标系和坐标值表示按传统摄影测量理论执行，具体如下：

a） 像素坐标系：表示像点在影像平面上的位置，原点位于数码航摄影像或数字化航摄影像左上角像素中心，x 轴正方向指向影像列增加方向，y 轴正方向指向影像行增加方向，坐标单位为像素，见图 B.1；

b） 像平面坐标系：表示像点在像平面上的位置，原点位于像主点（摄影主光轴与像平面的交点）。胶片数字化航摄影像的 x，y 轴与影像的框标坐标系平行，数码航摄影像的 x，y 轴与像素坐标系 x，y 轴平行，与航线方向一致的定义为 x 轴，构成右手直角坐标系，坐标单位为毫米（mm），见图 B.2，B.3。在摄影测量解析计算中，像点坐标均采用以像主点为原点的像平面坐标系中的坐标；

c） 像空间坐标系：表示像点在像空间的位置，原点位于摄影中心，x，y 轴与像平面坐标系 x，y 轴平行，z 轴与主光轴重合，构成右手直角坐标系，坐标单位为毫米（mm），见图 B. 4。在这个坐标系中，每个像点的 z 坐标都等于航摄相机焦距-f。

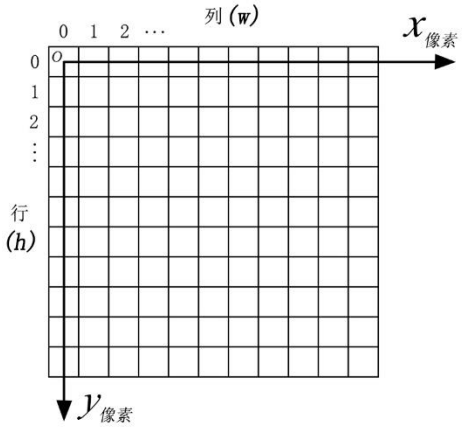

图 B. 1 数字航摄影像像素坐标系

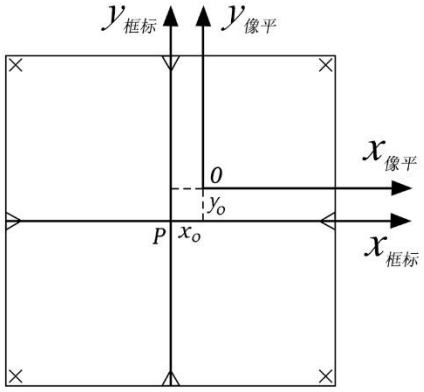

图 B. 2 胶片数字化航摄影像像平面坐标系

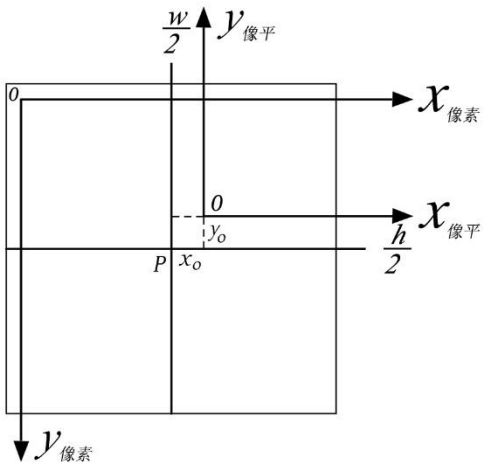

图 B. 3 数码航摄影像像平面坐标系

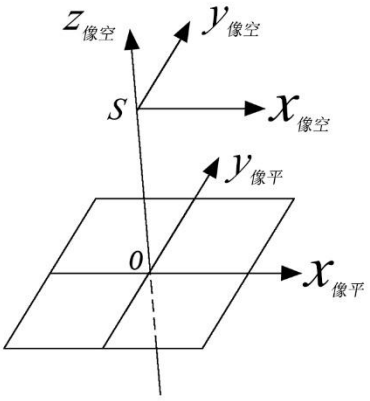

图 B. 4 像空间坐标系

B. 2 像点坐标变换

设数字影像的行像素数为 h（High），列像素数为 w（Width）；像素尺寸为 ps（PixelSize），单位为毫米，在 X，Y 方向的尺寸分别为 psx，psy，通常情况下 $psx=psy$；像点的像素坐标与像平面坐标间转换关系应采用二维仿射变换进行，见公式（B.1）：

$$\begin{aligned} x &= a_1 + a_2 \times i_x + a_3 \times i_y - x_0 \\ y &= b_1 + b_2 \times i_x + b_3 \times i_y - y_0 \end{aligned} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots（B.1）$$

式中：

x，y——像点的像平面坐标；

i_x，i_y——像点的像素坐标；

a_1，a_2，a_3，b_1，b_2，b_3——仿射变换参数；

x_0，y_0，$-f$——影像的内方位元素；

x，y，$-f$——像点的像空间坐标。

胶片数字化航摄影像应量测（人工或自动）4 个框标点（4 条边上或 4 个角上）的坐标与理论坐标（航摄相机检定获得），利用最小二乘法解算方程式 B.1 求得 6 个仿射变换参数（a_1，a_2，a_3，b_1，b_2，b_3），再按 B.1 式进行像点像素坐标到像平面坐标的转换，以完成影像内定向。

数码航摄影像像点的像素坐标与像平面坐标间的转换关系按公式（B.2）执行。

$$\begin{aligned} x &= \left(i_x - \frac{w}{2}\right) \times psx - x_0 \\ y &= \left(-i_y + \frac{h}{2}\right) \times psy - y_0 \end{aligned} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots（B.2）$$

式中：

x，y ——像点的像平面坐标；

i_x，i_y ——像点的像素坐标；

h ——行像素数；

psx，psy ——X，Y 方向的像素尺寸；

x_0，y_0，$-f$ ——影像的内方位元素。

将数码航摄影像的像素坐标与像平面坐标之间的转换关系按 B.1 式表示时，则按 B.2 式推导出数码航摄影像的 6 个仿射变换参数（a_1，a_2，a_3，b_1，b_2，b_3）按公式（B.3）计算。

$$\begin{aligned} a_1 &= -\frac{w}{2} \times psx - x_0;\ a_2 = psx;\ a_3 = 0.0 \\ b_1 &= \frac{h}{2} \times psy - y_0;\ b_2 = 0.0;\ b_3 = -psy \end{aligned} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots（B.3）$$

式中：

a_1，a_2，a_3，b_1，b_2，b_3——仿射变换参数；

w ——列像素数；

h ——行像素数；

psx，psy ——X，Y 方向的像素尺寸；

x_0，y_0，$-f$ ——影像的内方位元素。

B. 3 旋转矩阵和中心投影共线方程式

设像点 p 在像空间坐标系中的坐标为（x，y，$-f$），而在物方空间坐标系中的坐标为（X，Y，Z），则两者之间的变换关系见公式（B.4）

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x \\ y \\ -f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ -f \end{bmatrix} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots（B.4）$$

式中：

$$\mathrm{R} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix}$$

R 矩阵称之为像方到物方的正交旋转矩阵，R_{ij}（i =1，2，3；j =1，2，3）为旋转矩阵元素。中心投影共线方程式见公式（B.5）。

$$x = -f\frac{R_{11}(X_P - X_S)+R_{21}(Y_P - Y_S)+R_{31}(Z_P - Z_S)}{R_{13}(X_P - X_S)+R_{23}(Y_P - Y_S)+R_{33}(Z_P - Z_S)}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots（B.5）$$

$$y = -f\frac{R_{12}(X_P - X_S)+R_{22}(Y_P - Y_S)+R_{32}(Z_P - Z_S)}{R_{13}(X_P - X_S)+R_{23}(Y_P - Y_S)+R_{33}(Z_P - Z_S)}$$

式中：

f ——航摄相机焦距，单位为毫米（mm）；

x、y ——像点 p 的像平面坐标，单位为毫米（mm）；

X_S、Y_S、Z_S ——摄影中心的物方空间坐标，单位为米（m）；

X_P、Y_P、Z_P ——p 点的物方空间坐标，单位为米（m）；

R_{ij}（i =1，2，3；j =1，2，3）——像点空间直角坐标旋转变换的旋转矩阵元素。

附　录　C
（规范性附录）
框幅式数字航摄影像定向参数属性项定义、数据内容及记录格式要求

C.1 框幅式数字航摄影像定向参数属性项定义

框幅式数字航摄影像定向参数属性项定义见表 C.1。

表 C.1　框幅式数字航摄影像定向参数属性项定义

参数名	参数描述	数据类型	是否允许为空	小数取位	单位	样例
StripIndex	影像所属航带序号	TEXT	是	-	-	
ImageIndex	影像在航带中的序号	TEXT	是	-	-	
ImagePath	影像存放路径	TEXT	是	-	-	
ImageName	影像文件名	TEXT	否	-	-	170600116001.tif
ImagePointFile	像点坐标文件	TEXT	是	-	-	
ImageHight	影像行像素数（h）	INT	否	-	Pixel	15000
ImageWidth	影像列像素数（w）	INT	否	-	Pixel	10000
ImageBandNum	影像波段数	INT	是	-	band	
ImageBandBits	影像位数	INT	是		bit	
PixelSize	像素尺寸（ps）	FLOAT	否	5	mm	0.00560
ImageType	影像类型：gwMetricFrame（框幅式量测型航摄影像）	TEXT	否	-	-	
Point_x0	像主点 x 坐标（x_0）	FLOAT	否	5	mm	0.00500
Point_y0	像主点 y 坐标（y_0）	FLOAT	否	5	mm	0.00250
Focal	航摄像片主距（f）	FLOAT	否	5	mm	92.02580
a1,a2,a3 b1,b2,b3	内定向仿射变换参数	FLOAT	否	5	-	
Xs	摄影中心 X 坐标（东坐标）	FLOAT	否	5	m	471167.00106
Ys	摄影中心 Y 坐标（北坐标）	FLOAT	否	5	m	3757219.98498
Zs	摄影中心 Z 坐标（高程）	FLOAT	否	5	m	1527.13818
R11，R12，R13 R21，R22，R23 R31，R32，R33	旋转矩阵元素（由像方到物方坐标系，见 B.4，B.5）	FLOAT	否	12	-	-0.998744779605 ... -0.046979887422 ... -0.017371107881 ...

C.2 框幅式数字航摄影像定向参数数据内容及记录格式要求

在一个影像定向参数*_ori.xml 文件中，以每幅影像为单位，分段记录每幅影像的相关信息和内外方位元素参数，具体数据内容、记录格式要求及样例如下：

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<AATConfig>
    <ImagePara ImageIndex="1 "Strip Index="1 ">                                  //第 1 条航带，第 1 幅影像
        <ImagePathFile>D:/2_SXS/images/170600116001.tif</ImagePath>     //影像存放路径
        <ImageName>170600116001.tif</ ImageName>                                  //影像文件名
        <ImagePointFile>D:/2_SXS/images/170600116001_Point.txt</ ImagePointFile>     //像点坐标文件名
        <ImageInfo>
            <ImageHigh>15000</ImageHigh>                    //影像高（行像素数）
            <ImageWidth>10000</ImageWidth>                  //影像宽（列像素数）
            <ImageBandNum>3</ImageBandNum>                  //影像波段数
            <ImageBandBits>8</ImageBandBits>                //影像位数
            <PixelSize unit="mm">0.00560</PixelSize>        //影像像素尺寸
        </ImageInfo>
        <ImageGeometryInfo ImageType="gwMetricFrame">     //影像类型="框幅式量测型航摄影像"
            <gwMetricFrame>
                <CameraInfo unit="mm">                          //相机信息，单位
                    <point_x0>0.00500</point_x0>                //像主点 x 坐标
                    <point_y0>0.00250</point_y0>                //像主点 y 坐标
                    <Focal>92.02580</Focal>                     //航摄相机焦距
                </CameraInfo>
                <OrientParameter>
                    <InteriorParameter_a1>-28.00500</InteriorParameter_a1>     //内定向仿射变换参数 a1
                    <InteriorParameter_a2>0.00560</InteriorParameter_a2>       //内定向仿射变换参数 a2
                    <InteriorParameter_a3>0.00000</InteriorParameter_a3>       //内定向仿射变换参数 a3
                    <InteriorParameter_b1>41.99750</InteriorParameter_b1>      //内定向仿射变换参数 b1
                    <InteriorParameter_b2>0.00000</InteriorParameter_b2>      //内定向仿射变换参数 b2
                    <InteriorParameter_b3>-0.00560</InteriorParameter_b3>     //内定向仿射变换参数 b3
                    <Xs unit="m">471167.00106</Xs>                            //投影中心 X（东）坐标
                    <Ys unit="m">3757219.98498</Ys>                           //投影中心 Y（北）坐标
                    <Zs unit="m">1527.13818</Zs>                              //投影中心 Z 坐标（高程）
                    <RotationMatrix_R11>-0.998744779605</RotationMatrix_R11>    //旋转矩阵 R11 元素
                    <RotationMatrix_R12>0.047052242878</RotationMatrix_R12>     //旋转矩阵 R12 元素
                    <RotationMatrix_R13>-0.017174156496</RotationMatrix_R13>     //旋转矩阵 R13 元素
                    <RotationMatrix_R21>-0.046979887422</RotationMatrix_R21>     //旋转矩阵 R21 元素
                    <RotationMatrix_R22>-0.998738664044</RotationMatrix_R22>     //旋转矩阵 R22 元素
                    <RotationMatrix_R23>-0.017004144737</RotationMatrix_R23>     //旋转矩阵 R23 元素
                    <RotationMatrix_R31>-0.013343621450</RotationMatrix_R31>     //旋转矩阵 R31 元素
                    <RotationMatrix_R32>-0.016390622268</RotationMatrix_R32>     //旋转矩阵 R32 元素
                    <RotationMatrix_R33>0.999776622685</RotationMatrix_R33>     //旋转矩阵 R33 元素
                </OrientParameter>
            </gwMetricFrame>
        </ ImageGeometryInfo >
    </ImagePara>
    <ImagePara ImageIndex="2 "Strip Index="1 ">                                  //第 1 条航带，第 2 幅影像
        <ImagePathFile>D:/2_SXS/images/170600116002.tif</ImagePath>     //影像存放路径
        <ImageName>170600116002.tif</ ImageName>                                  //影像文件名
        ……
```

若 XML 文件中指定了影像的像点坐标文件，则像点坐标文件采用 ASCII 文本文件格式存储，一幅影像对应一个像点坐标文件，文件命名规则为“影像文件主文件名_Point.txt”，如影像文件名为 170600116001.tif，则像点坐标文件名为 170600116001_ Point.txt。文件内容及格式要求如下：

1） 文件第一行记录该影像中像点总数；

2） 自第二行开始，每行分别记录像点点号，像点的像平面坐标（x，y），像点对应的物方坐标（X，Y，Z），各数据项之间用 3 个空格分隔；

3） 文件中记录的各项数据类型定义见表 C.2。

表 C.2 像点坐标文件中记录的各项数据类型定义

数据项	数据类型	小数取位	单位	备注
像点总数	LONG	-	-	
点号	TEXT	-	-	最大 16 个字符
像点像平面坐标（x，y）	FLOAT	5	mm	
像点物方坐标（X，Y，Z）	FLOAT	5	m	

像点坐标文件记录内容及格式样例如下：

933

T00000001 -23.81171 3.78672 423874.89010 3739280.08612 111.26901

T00000002 -23.32513 -2.46492 424244.24020 3738765.24310 122.84302

T00000003 -23.23544 12.30354 423934.71705 3738543.53220 123.93311

T00000004 -22.78578 9.71469 424481.62231 3738445.49125 107.87932

……

附　录　D
（规范性附录）
航摄底片扫描技术要求

D.1 扫描仪参数要求

用于扫描航片的扫描仪应满足以下要求：

a） 几何精度≤±2μm；

b） 最小光学分辨率：7μm；

c） 辐射分辨率≥8bit；

d） 光学密度：0.1D～3.3D；

e） 动态范围≥2.5D；

f） 最小输出像素大小：7μm；

g） 最小有效扫描面积：235mm×235mm。

D.2 扫描分辨率估算

扫描分辨率按公式（D.1）估算，实际扫描分辨率不应大于估算分辨率 $R_{像}$的值。

$$R_{像} = \frac{0.8 \times \Delta h \times b}{H} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots（D.1）$$

式中：

$R_{像}$ ——影像扫描分辨率估值，单位为微米（μm），取整数；

Δh ——要求达到的高程精度（加密点高程中误差限值），单位为米（m）；

b ——航向平均重叠度的像片基线长度，单位为微米（μm）；

H ——平均相对航高，单位为米（m）。

D.3 技术要求

航摄底片扫描作业要求包括：

a） 扫描前检查和校正扫描仪的几何精度、光学分辨率和辐射分辨率、色彩精度，扫描工作中应定期进行检查，如发现超限应停止扫描，校正合格后继续扫描；

b） 应在专用的，室内清洁的，温度，湿度等符合要求的房间进行航片扫描；

c） 扫描前应使扫描仪充分预热；

d） 通过预扫描确定扫描的亮度、对比度、色彩饱和度以及扫描范围等参数；

e） 检查底片是否有撕裂、断裂、严重划痕和脱模等情况，并对底片进行清洁，以保证底片上不沾有污物，对于底片存在的问题应作记录；

f） 注意避免静电、划痕、脏点、灰尘等对扫描数据的影响；

g） 逐片检查扫描质量，根据需要对扫描影像进行增强、拉伸等处理或者重新扫描。