

3 摄影测量与遥感考试基本要求

利用摄影手段获取目标物的影像数据，研究影像的成像规律，对所获取影像进行量测、处理、判读，从中提取目标物的几何的或物理的信息，并用图形、图像和数字形式表达测绘成果的学科。它的主要研究内容有：获取目标物的影像，对影像进行处理，将所测得的成果用图形、图像或数字表示。摄影测量学包括航空摄影、航空摄影测量、地面摄影测量等。

摄影测量主要的摄影对象是地球表面，用来测绘国家各种基本比例尺的地形图，为各种地理信息系统与土地信息系统提供基础数据。

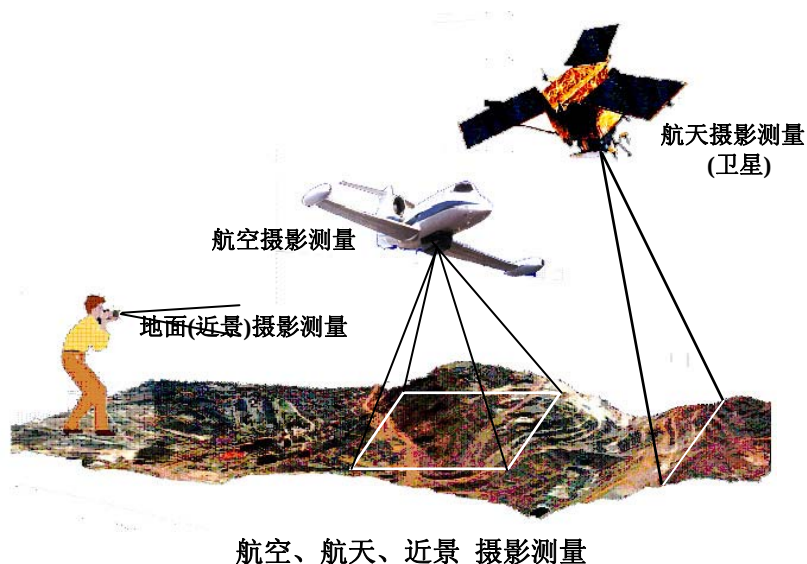
重点内容：围绕 4D 测绘产品的生产，掌握数字摄影测量、基本掌握遥感图像处理，重点掌握航空、航天影像获取、处理以及 4D 生产技术和规定。

数据获取：测绘航空摄影、卫星影像、LiDAR

航测外业：像控点布设、选刺及测量，外业调绘

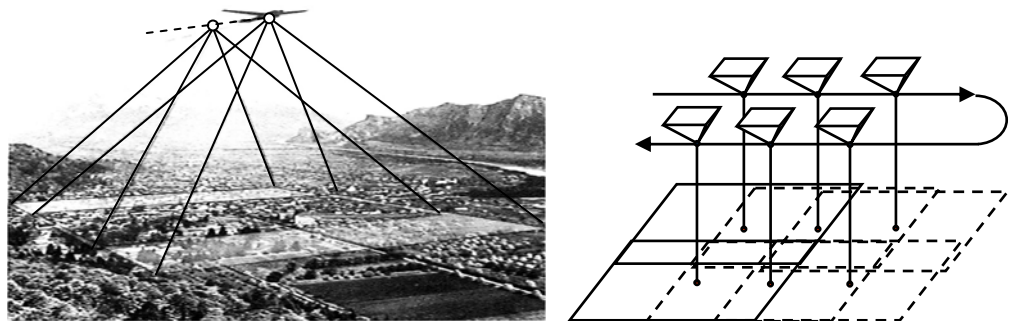
航测内业：摄影测量三个发展阶段，4D 测绘产品的数字摄影测量方法，重点掌握 DEM、DOM

测绘产品：4D 测绘产品标准



1. 航空摄影测量是将摄影机安装在飞机上，对地面摄影，这是摄影测量最常用的方法。摄影时飞机沿预先设定的航线进行摄影，相邻影像之间必须保持一

定的重叠度一称为航向重叠，一般应大于 60%，互相重叠部分构成立体像对。完成一条航线的摄影后，飞机进入另一条航线进行摄影，相邻航线影像之间也必须有一定的重叠度，称为旁向重叠，一般应大于 20%。



图航空摄影的原理图

利用航空摄影测绘地形图，比例尺一般为 1:5 万、1:1 万、1:5 千、1:2 千、1:1 千、1:500 等。其中 1:5 万、1:1 万为国家、省级基本地形图，它们常用于大型工程(如水利、水电、铁路、公路)的初步勘测设计，1:2 千、1:1 千、1:500 是主要应用于城镇的规划、土地、房产管理，1:5 千、1:2 千一般为大型工程设计用图。

航空摄影测量所用的是一种专门的大幅面的摄影机，称为航空摄影机，影像幅面一般为 230 mm×230 mm， 21 世纪以来，大幅面的数码航空摄影机开始得到广泛的应用，下图为数码航空摄影机 UCX 与由测绘研究院研制的 SWDC-4。随着数码技术与数字摄影测量的发展，大幅面的数码航空摄影机将逐步替代传统的光学航空摄影机。



图 光学航空摄影机



图航空摄影数码相机

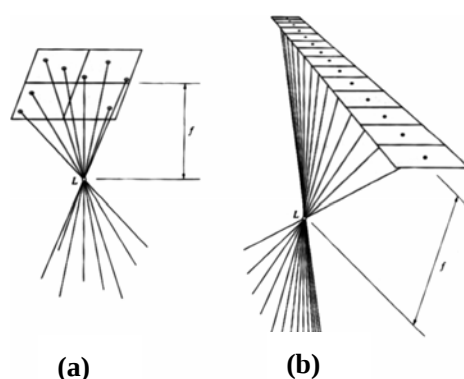


图 框幅式相机与线阵 CCD 摄影机

2. 航天摄影测量，随着航天、卫星、遥感技术的发展而发展的摄影测量技术，将摄影机（称为传感器）安装在卫星上，对地面进行摄影。特别是近年来高分辨率卫星影像的成功应用，它已经成为国家基本图测图、城市、土地规划的重要数据源。

用于航空、地面摄影的摄影机一般多为框幅式的(frame camera)，每次摄影都能得到一帧影像；但是在卫星上应用的多数是由 CCD 组成的线阵摄影机，如图 3—12b 所示[Mikhail E.M 等，2001]，即每一次只能得到一行影像。目前常用的卫星影像及其相应的测图与地图更新比例尺。

表 1

卫星名	地面分辨率	测图比例尺	地图更新比例尺
Landsat 7 ETM	15m /30 m	1:10 万~1:25 万	1:5 万~1:10 万
SPOT 1-4	10 m /20 m	1:10 万	1:5 万
SPOT 5	2.5~5 m /10 m	1:5 万	1:2.5 万
Ikonos II	1 m /4 m	1:1 万	1:5000
Quickbird	0.6 m /2.4 m	1:5000~1:1 万	1:5000

高分辨率卫星影像为我们提供了大量的清晰图像，下图是由离地球 680 公里高空获得的上海东方明珠的 Ikonos 卫星影像，下图是由离地球 450 公里高空获得的台北故宫的 Quickbird 卫星影像。这两种高分辨率的卫星影像已被我国广泛的应用于城市规划的各个部门。



图 上海东方明珠塔卫星影像



图 台北故宫卫星影像

3. 摄影测量的三个发展阶段—模拟、解析与数字摄影测量

若从 1839 年尼普斯和达意尔发明摄影术算起,摄影测量学(Photogrammetry)已有 160 多年的历史,1851~1859 年法国陆军上校劳赛达特提出的交会摄影测量,被称为摄影测量学的真正起点。

从空中拍摄地面的照片,最早是 1858 年纳达在气球上进行的。1903 年莱特兄弟发明了飞机,使航空摄影测量成为可能。第一次世界大战中第一台航空摄影机问世。由于航空摄影比地面摄影有明显的优越性(如视野开阔、快速获得大面积地区的像片等),使得航空摄影测量成为 20 世纪以来,大面积测制地形图最有效的快速方法。从 30 年代到 70 年代,主要测量仪器工厂所研制和生产的各种类型模拟测图仪器多数是针对航空地形摄影测量。

随着电子计算机的问世,出现了始于 50 年代末的解析空中三角测量(精确测定点位空间三维坐标的摄影测量方法)和解析测图仪与计算机控制的正射投影仪。1957 年,海拉瓦博士提出了利用电子计算机进行解析测图的思想,限于当时计算机的发展水平,解析测图仪经历了近二十年的研制和试用阶段。到了 70 年代中期,电子计算机技术的发展,使解析测图仪进入商用阶段,在摄影测量生成中得到广泛的应用。

进入 80 年代,随着计算机进一步发展,摄影测量的全数字化、完全计算机化、数字摄影测量系统开始研究与发展,进入 90 年代数字摄影测量系统(主要是工作站)进入实用化阶段,随着 PC 机的迅速发展,90 年代末数字摄影测量开

始全面地替代传统的摄影测量仪器，摄影测量生产真正进入了全数字化时代。

三个发展阶段可以用图中三种典型的摄影测量仪器表示。(a)模拟测图仪，完全依赖于精密的光学机械、结构非常复杂的摄影测量仪器；(b)解析测图仪，计算机开始进入摄影测量。它是基于精密的光学机械与计算机的摄影测量仪器；(c)数字摄影测量工作站（DPW—digital photogrammetric Workstation）是完全没有光学机械、全部计算机化的摄影测量系统。



图 摄影测量三个发展阶段的三种典型仪器

3.1 根据项目要求确定的成图方法选择坐标系统和高程基准，确定分幅及编号方法，确定基本等高距，确定成图的平面和高程精度

考点分析

1. 坐标系统和高程基准：大地测量学内容
2. 分幅及编号：地图学、大地测量学内容
3. 航测成图精度

平面坐标系采用国家统一的平面坐标系或依法审批通过的地方坐标系，高程基准采用国家统一的高程基准。

分幅及编号按国家基本比例尺地图图式的相关要求进行。

基本等高距应依据地形类别和用图的需要按表 1 规定选用。一幅图内宜采用一种基本等高距，当基本等高距不能显示地貌特征时，应加绘半距等高线；平坦

地区，根据用图需要可以不绘等高线，仅用高程注记点表示。

表 1 基本等高距要求（单位：m）				
成图比例尺	地形类别			
	平地	丘陵地	山地	高山地
1：500	0.5	1.0（0.5）	1.0	1.0
1:1 000	0.5（1.0）	1.0	1.0	2.0
1:2 000	1.0（0.5）	1.0	2.0（2.5）	2.0（2.5）
1:25 000	5（2.5）	5	10	10
1:50 000	10（5）	10	20	20
1:100 000	20（10）	20	40	40
注：括号内表示依用图需要选用的等高距				

高程注记点一般应选择在明显地物或地形点上，依据地形类别及地物点和地形点的多少，其密度大约控制在图上每 100cm² 内 5~20 个。

数字化成图的精度要求为最大误差不应超过两倍中误差，对于林区、阴影覆盖隐蔽区等困难地区的平面中误差可以放宽 1/2。

对于不同比例尺成图，内业加密点和地物点对最近野外控制点的图上点位中误差不得大于表 2 的规：

表 3 航测地形图平面精度要求（单位 mm）				
比例尺	1：500~1：2000		1：2.5 万~1：10 万	
项目	地形类别		地形类别	
	平地、丘陵地	山地、高地	平地、丘陵地	山地、高地
加密点中误差	0.4	0.55	0.35	0.5
地物点中误差	0.6	0.8	0.5	0.75

内业加密点、高程注记点和等高线对最近野外控制点的高程中误差不应大于表 3 的规定：

表 3-1 内业加密点中误差要求（单位：m）				
成图比例尺	地形类别			
	平地	丘陵地	山地	高山地
1：500			0.35	0.5
1:1 000		0.35	0.5	1.0
1:2 000		0.35	0.8	1.2
1:25 000	1.0	1.5	2.0	3.5
1:50 000	2.0	3.0	4.0	7.0
1:100 000	4.0	6.0	8.0	14.0

表 3-2 高程注记点中误差要求（单位：m）				
成图比例尺	地形类别			
	平地	丘陵地	山地	高山地

1: 500	0.2	0.4 (0.2)	0.5	0.7
1:1 000	0.2 (0.4)	0.5	0.7	1.5
1:2 000	0.4 (0.2)	0.5	1.2	1.5
1:25 000	1.2	2.0	3.0	5.0
1:50 000	2.5	4.0	6.0	10.0
1:100 000	5.0	8.0	12.0	20.0
注：括号内表示依用图需要满足的精度要求				

表 3-3 等高线中误差要求（单位：m）				
成图比例尺	地形类别			
	平地	丘陵地	山地	高山地
1: 500	0.25	0.5 (0.25)	0.7	1.0*
1:1 000	0.25(0.5)	0.7	1.0	2.0*
1:2 000	0.5(0.25)	0.7	1.5*	2.0*
1:25 000	1.5	2.5	4.0*	7.0*
1:50 000	3.0	5.0	8.0*	14.0*
1:100 000	6.0	10.0	16.0*	28.0*
注：括号内表示依用图需要满足的精度要求,*表示地形变换点				

对 1：500 地形图高山地地面坡度在 40 度以上，1：1000 地形图高山地，1：2000 地形图山地、高山地在图上不能直接找到位置的地方，衡量等高线高程精度可以采用式（1）计算；对比例尺为 1：25000 以下的地形图山地、高山地在图上不能找到位置的地方，衡量等高线高程精度可以采用式（2）计算：

$$M_h = \pm(a + b \cdot \tan \alpha) \cdots (1)$$

$$M_h = \pm \sqrt{a^2 + b^2 \cdot \tan^2 \alpha} \cdots (2)$$

式（1）和（2）中：

- M_h —等高线高程中误差，单位为米（m）；
- a —高程注记点的高程中误差，单位为米（m）；
- b —地物点平面位置中误差，单位为米（m）；
- α —检查点附近的地面坡度（地面倾斜角），单位为度（°）。

3.2 根据项目要求确定的测区，进行摄区划分，提出满足成图要求的影像质量要求及摄影比例尺，获取影像资料；确定对影像资料进行辐射分辨率调整和整体匀色的技术要求，确定影像资料的处理方法

考点分析

- 1) 摄影比例尺、成图比例尺以及二者的关系
- 2) 航摄区的划分原则
- 3) 航片质量
- 4) 空间分辨率、辐射分辨率
- 5) 匀光技术

1. 航摄比例尺

航摄比例尺应根据不同摄区的地形特点，在确保测图精度的前提下，本着有利于缩短成图周期、降低成本、提高测绘综合效率的原则在表 4 的范围内选择选择。

表 4	
成图比例尺	航摄比例尺
1: 500	1: 2 000~1: 3 500
1: 1 000	1: 3 500~1: 7 000
1: 2 000	1: 7000~1: 14 000
1: 5 000	1: 10 000~1: 20 000
1: 10 000	1: 20 000~1: 40 000
1: 25 000	1: 25 000~1: 60 000
1: 50 000	1: 35 000~1: 80 000
1: 100 000	1: 60 000~1: 100 000

2. 航摄分区的划分原则

- a) 分区界线应与图廓线相一致；
- b) 分区内的地形高差不得大于四分之一航高（以分区的平均高度平面为基准面的航高）。
- c)在地形高差许可且能够确保航线的直线性的情况下，航摄分区的跨度应尽量划大，同时分区划分还应考虑用户提出的加密方法和布点方案的要求；
- e) 当地面高差突变，地形特征差别显著或有特殊要求时，可以破图幅划分航摄分区。

3. 摄影质量要求

航摄影像的质量原则上应满足下列要求：能够正确地辨认出航摄底片上各种地物的影像；在航测加密和测图中，测绘仪器系统中的侧标能够精确地照准地物

影像的边缘或中心；能够精确地测绘出被摄物体的轮廓以便正确量测地物大小和面积。

显然，要满足上述要求，整卷底片的平均密度，灰雾密度，最小密度，最大密度等航摄底片的构像质量都要符合相关规范规定。

最大曝光时间的限定，除保证航摄胶片正常感光外，还应确保因飞机地速的影响，在曝光瞬间造成的像点最大位移不超过 0.05mm。航摄胶片在曝光瞬间由于未能严格压平而在像平面上引起的像点位移误差（用检查点上的剩余上下视差（ Δq ）衡量）应不大于 0.02mm，个别点最大不大于 0.03mm；

用目视透光法直接观察底片，应影像清晰、层次丰富、反差适中、色调柔和；应能辨认出与航摄比例尺相适应的细小地物影像，能够建立清晰的立体模型，能确保立体量测的精度。底片上框标影像和其他记录影像清晰、齐全。底片上不应有云、云影、划痕、静电斑痕、折伤、脱膜等缺陷。除用于编制影像平面图、正射影像图和数字摄影测量的底片以外，对少数底片上虽然存在局部缺陷，但不影响立体模型的连接和常规测绘时，可用于测制线划图。

采用彩色、彩色红外航空胶片进行摄影时，应正确选择滤光镜，确保曝光量正常，底片密度和反差适中、影像清晰、色彩丰富、颜色饱和、彩色平衡良好。彩色红外摄影红外特征明显，相邻底片上相同地物的彩色基调基本一致。有关彩色红外摄影影像质量控制的方法和标准可按照相关规范的规定执行。

4. 辐射校正

由于遥感图像成像过程的复杂性，传感器接收到的电磁波能量与目标本身辐射的能量是不一致的，这是因为传感器输出的能量中包含了由于太阳位置和角度条件、大气条件、地形影响和传感器本身的性能等所引起的各种失真。为了正确评价目标的反射及辐射特性，必须对这些失真加以校正或消除。

传感器的输出能量 E_λ 除了与地物本身的反射和发射波谱特性有关外，还与传感器的光谱响应特性、大气条件、光照情况等因素有关。因此遥感图像的辐射误差主要包括三个方面：

- 1) 传感器本身的性能引起的辐射误差；
- 2) 地形影响和光照条件的变化引起的辐射误差；

3) 大气的散射和吸收引起的辐射误差。

1) 由传感器响应特性引起的辐射误差校正

(1) 由光学系统的特性引起的辐射误差校正

光学摄影机内部辐射误差主要是由镜头中心和边缘的透射光的强度不一致造成的。在使用透镜的光学系统中,例如在摄像面中,存在着边缘部分比中心部分发暗的现象(边缘减光),它使得在图像上不同位置的同一类地物有不同的灰度值。设原始图像灰度值为 $g(x,y)$,校正后的图像灰度值为 $f(x,y)$,则有:

$$f(x,y) = \frac{g(x,y)}{\cos \theta} \quad (4-3-24)$$

式中 θ ——像点成像时光线与主光轴夹角。

(2) 由光电转换系统的特性引起的畸变校正

在扫描方式的传感器中,传感器接收系统收集到的电磁波信号需经光电转换系统变成电信号记录下来,这个过程也会引起辐射量的误差。光电扫描仪的内部辐射畸变主要有两类:一类是光电转换误差;另一类是探测器增益变化引起的误差。卫星接收站地面处理系统通常采用楔校准模型和增益校准模型,对卫星图像进行处理,以消除传感器的光电转变辐射误差和增益变化的误差。由于光电变换系统的灵敏度特性通常有很高的重复性,所以可以定期地在地面测量其特性,根据测量值可对其进行辐射畸变校正。

2) 由太阳位置和地形起伏引起的辐射误差校正

(1) 太阳位置引起的辐射误差校正

太阳位置主要是指太阳高度角和方位角,如果太阳高度角(太阳入射光线与地平面的夹角)和太阳方位角(太阳光线在地面上的投影与当地子午线的夹角)不同,则地面物体入射照度就发生变化。太阳高度角引起的辐射误差校正就是将太阳光线倾斜照射时获取的图像校正为太阳光线垂直照射时获取的图像。太阳高度角 θ 可根据成像时间、季节和地理位置来确定,一般是通过调整一副图像内的平均灰度来实现的。

太阳方位角的变化也会改变光照条件,它也随成像时间、季节、地理纬度的变化而变化。太阳方位角引起的图像辐射值误差通常只对图像细部特征产生影响,它可以采用与太阳高度角校正相类似的方法进行处理。

由于太阳位置的影响,在图像上会产生阴影。一般情况下,图像上地形和地

物的阴影是难以消除的,但是多光谱图像上的阴影可以通过图像之间的比值予以消除或减弱。比值图像是用同步获取的相同地区的任意两个波段图像相除而得到的新图像。阴影的消除对影像的定量分析和自动识别是非常重要的,因为它消除了非地物辐射而引起的影像灰度值的误差,有利于提高定量分析和自动识别的精度。

(2)地形起伏引起的辐射畸变校正

太阳光线与地表作用后再反射到传感器的太阳光辐射亮度与地面倾斜度有关。当地形倾斜时,经过地表扩散、反射再入射到传感器的太阳光辐射亮度就会依倾斜度而变化。地形坡度引起的辐射校正方法需要有影像对应地区的 DEM 数据,校正较为麻烦,一般情况下对地形坡度引起的误差不做校正。另外,对消除了光路辐射成分的图像数据,此项校正也可采用波段间的比值方法来进行校正。

3) 大气辐射校正

进入大气的太阳辐射会发生反射、折射、吸收、散射和透射,其中对传感器接收影响较大的是吸收和散射。由于大气对辐射的吸收和散射作用,使得原信号的强度减弱了,该辐射经地面反射到传感器时又要经历一次衰减。同时,大气的散射光也有一部分直接或经过地物反射进入到传感器,这两部分辐射又增强了信号,但却不是有用的。其中大气散射光经地物反射以及反射路径上的大气吸收后,被传感器接收的辐射能较小,基本上可以忽略不计。然而还有相当部分的大气散射光未经地面反射和大气吸收,而直接被传感器接收,这种辐射被称之为程辐射,它被传感器接收的辐射能较大。

大气散射的影响降低了图像的对比度,精确的大气校正需要找出每个波段像元亮度值与地物反射率的关系。为此需得到卫星飞行时的大气参数,以求出大气透过率等因子。如果不通过特别的观测,一般很难得到这些数据,所以,通常采用一些简化的处理方法,即去掉上述影响因素中的程辐射。目前常用的方法是基于地面场地数据或辅助数据进行辐射校正和利用波段特性进行大气校正。

(1) 基于地面场地数据或辅助数据进行辐射校正:

在遥感成像的同时,同步获取成像目标的反射率,或通过预先设置已知反射率的目标,把地面实况数据与传感器的输出数据进行比较,来消除大气的影。这里假设地面目标发射率与传感器所获得的信号之间属于线性关系。

将地面测定的结果与卫星图像对应像元的亮度值进行回归分析，其回归方程为：

$$L = a + bR \quad (4-3-25)$$

式中： L ——卫星观测值；

a ——常数；

b ——回归系数。

设 $bR = L_a$ 为地面实测值，该值未受大气影响，则 $L = a + L_a$ ， a 即为大气影响。所以可以得到大气影响 $a = L - L_a$ ，则大气校正公式为：

$$L_G = L - a \quad (4-3-26)$$

图像中的每一像元亮度值均减去 a ，以获得成像地区大气校正后的图像。由于遥感过程是动态的，在地面特定地区、特定条件和一定时间段内测定的地面目标反射率不具有普遍性，因此该方法仅适用于包含地面实况数据的图像。

(2) 利用波段特性进行大气校正

严格地说，程辐射度的大小与像元位置有关，随大气条件、太阳照射方向和时间变化而变化，但因其变化量微小而忽略。可以认为，程辐射度在同一幅图像的有限面积内是个常数，其值的大小只与波段有关。一般来说，程辐射度主要来自米氏散射，即散射主要发生在短波波长，其散射强度随波长的增大而减小，而红外波段基本上接近于零。把近红外波段最为无散射影响的标准图像，通过对不同波段图像的对比分析来计算大气影响。根据这种原理，一般有两种大气辐射的校正方法：直方图法和回归分析法。

5. 匀光技术

色调调整与影像镶嵌

1) 镶嵌前应保证片与片之间、图幅与图幅之间的影像色调基本一致。特别是彩色影像（包括真彩色、彩红外等）必须根据需要进行局部色彩纠偏，以保持整体色彩效果的统一。

2) 相邻模型影像的镶嵌，应注意拼接线的选择：

一般以控制点连线为拼接线；

为避免地物影像分割（如高大建筑物）失去完整性，以控制点连线为中心线的 1cm 范围内选择拼接线；

影像镶嵌后不能造成影像重影。

3.3 根据项目要求和影像资料情况，实施航空摄影测量的航区划分、像控点布设、像控点选刺及测量和外业调绘等工作

考点分析

- 1) 像控点布设
- 2) 像控点选刺
- 3) 外业调绘

根据地形条件、摄影资料及信息处理的方法不同，像控点的布设方案也不同。像片控制点的一般应满足下列条件：

a) 像片控制点的目标影像应清晰，易于判读；目标条件与其他像片条件矛盾时应着重考虑目标条件；

b) 布设的控制点宜能公用；

c) 控制点距像片边缘不应小于 1cm（18cm×18cm 像幅）或 1.5cm（23cm×23cm），综合法成图的控制点距航向边缘不应小于上述规定的 1/2；

d) 控制点距像片的各类标志应大于 1mm；

e) 控制点应选择在旁向重叠中线附近，离开方位线的距离应大于 3cm（18cm×18cm 像幅）或 5cm（23cm×23cm），旁向重叠过大时，可大于 2cm（18cm×18cm 像幅）或 3cm（23cm×23cm）；因旁向重叠较小，使相邻航线的点不能公用时，应分别布点，两点裂开的垂直距离在像片上不能大于 2cm；

f) 位于自由图边、待成图边以及其他方法成图的图边控制点，应布设在图廓线外 4mm 以上。

按布网方式来划分，像片控制点的布设方案一般可分为航线网布点、区域网布点、特殊情况布点等；按像片控点布设的作业方式，可分为全野外布点和非全野外布点。不同的像片控制点布设方案，要求又各不相同。

野外像控点，无论是平面点、高程点或平高点，均要求选择在明显目标点上，像片刺点精度是保证摄影测量加密等数学精度的最重要一环，特别是在大比例尺摄影测量的情况下，像片比例尺小于图比例尺较多时更为重要。航摄像片上平面点和平高点的刺孔偏离误差，不得大于像片上的 0.1 毫米，高程点如选在明显目标点上，则要求相同；高程点如选在山顶和鞍部等不易刺准的地方，应借助于立体观察，尽量准确刺出。对于每个像控点，一般只需要在一张像片上刺孔，因此，应在相邻两航线的所有相邻像片中，选出像控点附近影像最清晰的一张像片进行刺点。像控点如果照顾图幅布设时，相邻图幅公用的点必须在邻图幅的一张像片上转刺。

像控点的刺孔要小，刺孔直径最大不得超过 0.2 毫米。刺孔要透亮，因此要选用细直而坚硬的针刺，垫上较硬的垫板轻轻刺出。如果不小心刺偏或判错，不允许在同一张像片上重刺，以免出现双孔、多孔和薄膜剥落等现象，这时应挑选一张相邻像片，重新仔细刺点，原像片作废。刺点目标在像片上的影像应与实地形状一致，确认其没有变动后方可刺点。确认像片上微小目标的最好方法是在实地审定，目标在实地可能变动的范围应不大于 0.4 米。房角、水泥电杆，在 1:2000 图中是比较理想的目标，只是外业联测时需用交会或引点。刺点目标在像片上的影像轮廓必须清晰、几何形状必须规整，单靠目视观察很难达到精度，平地需要放大镜，山地、丘陵地需用立体镜对像片辨认和刺孔。严格禁止远距估计刺点、回忆刺点、以及回驻地后再画略图等。

在像片控制点野外选刺的同时，还需将测区内所有国家等级的三角点和水准点、图根点等刺出。但是，这些点通常属于不明显目标，当不能准确刺出时，不要勉强刺点，有时可用调绘不明显目标的方法刺出其位置。

刺点工作由一人在现场完成后，必须由另一人到现场检查，刺点者和检查者均需签名，并签注日期，对于自由图边的像控点，则要求专职检查人员到现场检查，确实无误时，签注姓名、日期、以示负责。

野外调绘目前仍然是大比例尺航测成图的常用方法。在确定调绘面积及选择调绘路线后，利用航摄像片对地形图各要素调绘，如对居民地、工业矿区设施及管线、道路、行政区、水系、植被、地貌等要素进行调绘。主要注意以下几个方

面：一是掌握目视解译特征，作到准确解译和描绘；二是正确掌握综合取舍的原则，综合合理，取舍恰当；三是掌握地物地貌属性、数量特征和分布情况，依据图式的说明和规定，正确运用统一的符号、注记描绘在像片上。

航区划分、像控点布设、像控点选刺及测量和外业调绘等工作的具体要求可参见国家航空摄影测量相关规范（GB/T 6962，GB/T 15661，GB/T 7931，GB/T 12341等），这里不做详细介绍。

3.4 根据项目要求，对数字线划图、数字高程模型、数字正射影像图和数字栅格地图的生产提出成图技术要求，实施解析空中三角测量、内业测图和编辑等工作，并进行质量管理

考点分析：

- 1) 4D 生产技术
- 2) 生产流程
- 3) 4D 质量评价
- 4) 生产成本

数字高程模型是我国基础地理信息数字产品的重要组成部分之一。DEM 按格网类型可分为规则格网 DEM 和不规则格网 DEM，目前较为常用的是规则格网的数字高程模型。规则格网 DEM 可分为一级、二级、三级三个等级，分别用代号 A、B、C 表示；不规则格网 DEM 同样分为一级、二级、三级三个等级，分别用代号 1、2、3 表示。

数字高程模型技术指标主要有空间定位参考系和精度。数字高程模型的定位参考系可按 GB/T 18315 执行。DEM 的精度指标要满足基础地理信息数字产品测绘行业标准 CH/T 1008 的规范要求，表 5 是 1：10000、1：50000 数字高程模型的技术指标。

表 4-1 1/1 万、1/5 万 DEM 技术指标	
项目	参数

	1: 10000	1: 50000
格网尺寸	12.5m(0.625")	25m(1.25")
高程数据取位	0.1m	1m
高程中误差		
(一级)	平地 0.5m, 丘陵地 1.2m, 山地 2.5m, 高山地 5.0m	平地 3m, 丘陵地 5m, 山地 8m, 高山地 14m
(二级)	平地 0.7m, 丘陵地 1.7m, 山地 3.3m, 高山地 6.7m	平地 4m, 丘陵地 7m, 山地 11m, 高山地 19m
(三级)	平地 1.0m, 丘陵地 2.5m, 山地 5.0m, 高山地 10.0m	平地 6m, 丘陵地 10m, 山地 16m, 高山地 28m

森林等隐蔽地区的高程中误差可按表 5 中规定的高程中误差的 1.5 倍计算，DEM 内插点的高程精度按格网点精度的 1.2 倍计算。高程中误差的 2 倍为采样点数据最大误差限。

对 DEM 的技术要求主要有以下几个方面：DEM 按 GB/T 13989 规定的图幅内图廓线范围，向四边扩展（图上约 10mm）以矩形覆盖范围为单位提供数据；规则格网 DEM 数据存储时，应按由西向东，由北向南的顺序排列；应与相邻 DEM 接边，接边后不应出现裂缝现象，重叠部分的高程值应一致；规则格网 DEM 产品可由不规则格网 DEM 内插生成，生成的规则格网 DEM 应归类于相应等级的规则格网 DEM 系列中；小比例尺的 DEM 可以由大比例尺 DEM 重采样生成，生成的 DEM 应归类于一级产品系列；起止格网点是规则格网 DEM 的重要定位参考点，应正确确定，要根据格网坐标系的不同（大地坐标、高斯平面坐标）选择合适的方法计算起止格网点坐标；数字高程模型应包含元数据，元数据内容及填写规则按 CH/T 1007 执行。

关于 DEM 的详细成图技术要求可参照 CH/T 1008。

数字正射影像也是我国基础地理信息数字产品的重要组成部分之一。

DOM 的技术指标主要有空间定位参考系，成图精度，影像地面分辨率，灰阶（辐射分辨率），波段以及接边误差等。

DOM 产品的空间定位参考系及影像图的平面位置中误差，应符合相同比例尺数字地形图产品的相关规范。其余技术指标因 DOM 的比例尺不同而异。下表是 1: 1 万和 1: 5 万比例尺 DOM 的技术指标：

表 10-2 数字正射影像图技术指标		
项目	参数	
	1: 10 000	1: 50 000

影像地面分辨率	1m	5m
灰阶（辐射分辨率）	256 灰阶	256 灰阶
波段	1 个或多个	1 个或多个
接边限差	平地、丘陵地 5m 山地、高山地 8m	平地、丘陵地 25m 山地、高山地 40m

数字正射影像的相关质量和技术要求：

- a) 整个图幅内及整个基础地理信息数据库中的图像都应反差适中，色调均匀，经过镶嵌的数字正射影像图，其镶嵌边处不应有明显的灰度改变
- b) 应与相邻数字正射影像图接边，接边误差不应大于表 2 的规定, 接边后不应出现影像裂隙或影像模糊现象
- c) 用于数字正射影像图影像几何纠正的数字高程模型应满足数字高程模型的相关精度要求。无符合精度要求的 DEM 时，也可选用精度放宽一倍的 DEM 进行影像纠正。
- d) 数字正射影像图图廓整饰内容和样式按遥感影像平面图制作规范的相关规定执行。
- e) 数字正射影像图的图廓整饰及注记部分可以矢量或栅格文件的形式存贮或分层存放。
- f) 数字正射影像图产品应包含元数据，元数据内容及填写规则按基础地理信息数字产品元数据的有关规定执行。
- g) 数字正射影像图产品应在数据体文件头或单独的文件中包含影像的定位点信息。

关于 DOM 的详细成图技术要求可参照 CH/T 1009。

数字栅格地图（DRG）可由模拟地图经扫描、几何纠正及色彩归化等处理后形成，也可由矢量数据格式的地图图形数据转换而成，是我国基础地理信息数字产品的重要组成部分。

DRG 按颜色可以分为单色和彩色两类，分别用代号 D、C 表示。

DRG 的技术指标主要有空间定位参考系、分辨率、精度和图形、色质质量及数据的格式等。DOM 要包含相同比例尺地形图上全部内容和元数据。DRG 产品的平面坐标系、高程基准可按 GB/T 18315 执行。DRG 的平面精度要求为：图廓点坐标值偏差不大于一个像元，图廓尺寸与理论尺寸之差不得大于表 4-3 规定。

表 4-3 单位：m（像元）		
比例尺	边长	对角线
1：10000	2（3）	3（4）
1：50000	10（3）	15（4）

地物点对最近野外控制点的图上点位中误差不得大于表 4-4 规定。

表 4-4 单位：mm（像元）		
比例尺	平地、丘陵	山地、高山地
1：10000	0.5（6）	0.75（9）
1：50000	0.5（6）	0.75（9）

高程点、等高线对最近野外控制点的高程中误差不得大于表 4-4 规定，各中误差的 2 倍为限差。

表 3-2 等高线中误差要求（单位：m）					
成图比例尺		地形类别			
		平地	丘陵地	山地	高山地
1：10000	高程点	0.35	1.2	2.5	4.0
	等高线	0.5	1.5	3.0	6.0
1：50000	高程点	2.5	4.0	6.0	10.0
	等高线	3.0	5.0	8.0	14.0

图形、色颜质量的要求是图形应清晰，无发糊虚断现象。如为彩色，色彩应统一，色值应正确。DRG 的数据格式按 GB/T 17798 执行。

DRG 的技术要求主要有图幅范围及分幅编号、数据源、扫描分辨率、数据处理、元数据等方面。不同比例尺 DRG 的产品范围不同，1：10000DRG 产品范围为经差 3′ 45″、纬差 2′ 30″，1：50000DRG 产品范围为经差 15′ 00″、纬差 10′ 00″。

DRG 对数据源的要求为：a) 用于扫描的地形图资料其地图图廓尺寸、空间定位参考系符号要求；采用最新出版的地图，具有较强现势性；尽量选用图面平整、无折痕、无黄斑，图形、注记完整，线划清晰、各色套合良好的地形图作为扫描底图。用于栅格化的数字地形图，要素须完整，并具有较强现势性。 b) 用于补充更新 DRG 数据产品的资料或相关信息(如数字影像图等)应具有较强的现势性，成图或数据采集日期不超过二年。

DRG 扫描分辨率参数应不低于 400dpi，以 400～600dpi 为宜。对于扫描的数据必须进行地理定位、全图按内图廓逐公里格网采用双线性变换或多项式变换进行几何纠正，并应进行去噪处理、图形虚断编辑处理、色彩归化处理等。DRG 产品应包含元数据，元数据内容及填写规则按 CH/T 1007 执行。

数字地图的生产与技术方法

地形图数据库的数据基础就是数字线划地图 DLG、数字高程模型 DEM、数字正射影像 DOM 和数字栅格地图 DRG，以上这 4 种数字地图产品被简称为地图 4D 产品（图 6-18）。

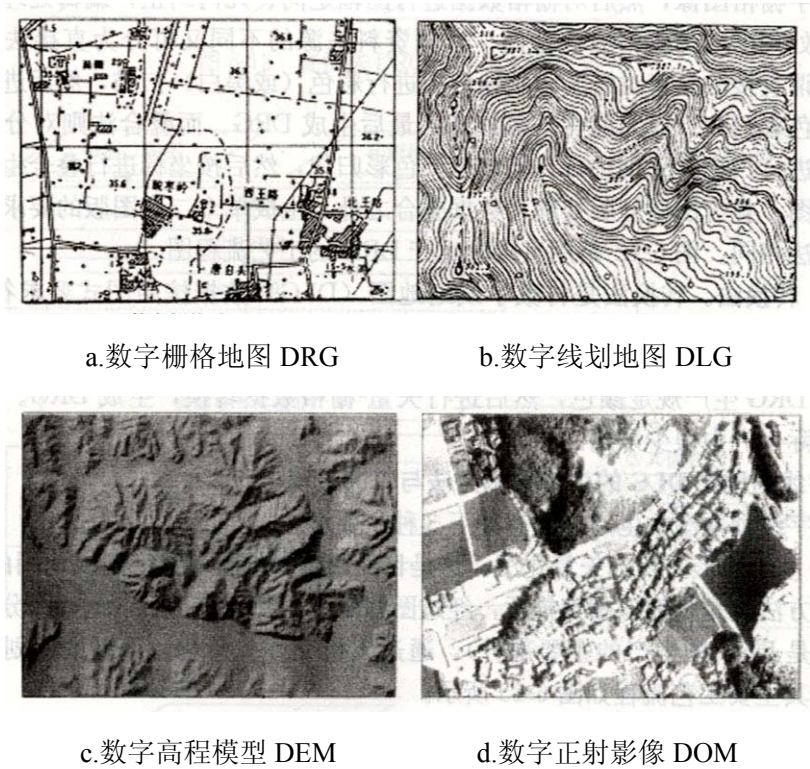


图 6-18 数字地图 4D 产品

20 世纪 90 年代以来，随着 RS 与 GIS 技术发展，形成了新的数字制图的生产技术。它是以栅格数据为主，兼容矢量数据，综合利用多种数据源，在 GIS 支持下实现多重信息高精度空间配准和变化生成的多种数字地图系列产品的系统技术。目前，我国就 4D 产品的生产已经建立起了一整套比较完整且规范化的生产技术与工艺流程，下面就分别对 4D 产品的规模化和规范化生产技术和工艺流程作简要介绍。

1. 数字栅格地图 DRG 的生产与技术方法

数字栅格地图 DRG 是现有纸质地形图经计算机处理后得到的栅格数据文件。每一幅地形图在扫描数字化后，经几何纠正，并进行内容更新和数据压缩处理，彩色地形图还应经色彩校正，使每幅图像的色彩基本一致。数字栅格图在内容、几何精度和色彩上与国家基本比例尺纸质地形图保持一致。它可以作为背景图，

用于其他专题数据的参照和修测其他与其相关的信息；也可用于 DLG 的数据采集、评价和更新及与 DEM, DOM 等数据集成使用，从而提取、更新地图数据和派生出新信息。DRG 的基本生产技术方法有两种：

(1) 地形图扫描法

地形图扫描法是将印刷地形图或分版二底图进行扫描，生成数字栅格图像，然后对栅格数据进行图幅定向、几何纠正，编辑处理或色彩归化等处理生成的栅格数字地图。根据资料来源的不同又可分为直接法和叠合法。所谓直接法是指对纸质印刷地形图进行彩色（或黑白）扫描，然后进行几何校正、色彩归化（或二值化）等处理，最后生成 DRG。而叠合法则对分版二底图分别进行扫描，分别进行几何校正、色彩归化，然后按坐标进行叠合生成数字栅格地图。叠合法除分版处理和数据叠合之外，生成单个二底图版的要求与工艺和直接法相同。图 6-19 是用直接法生产 DRG 的工艺流程图。

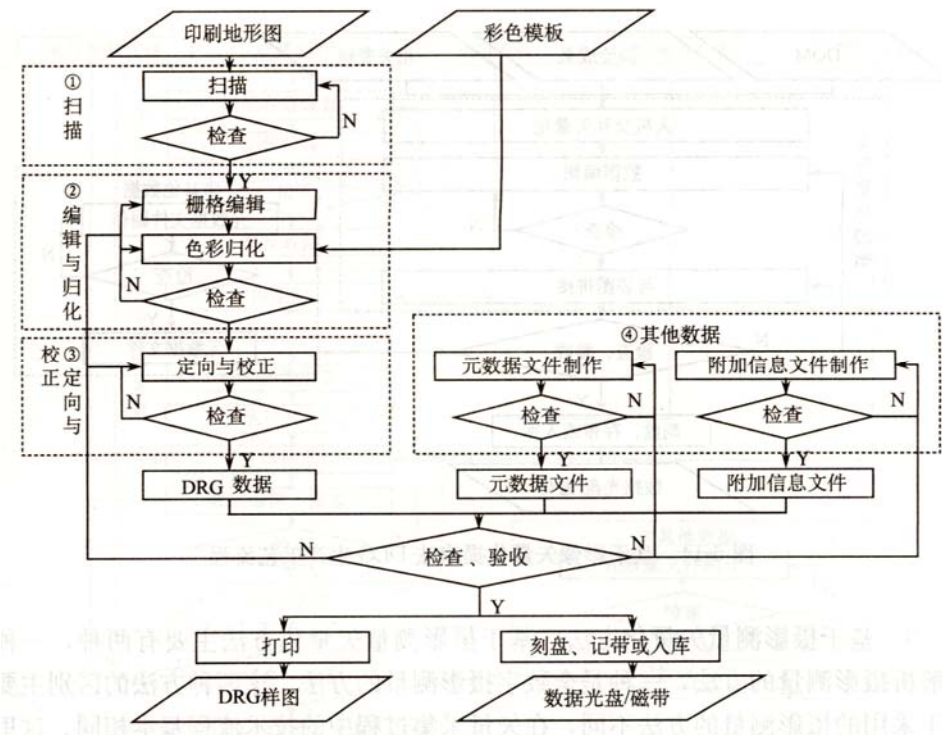


图 6-19 直接法 DRG 生产工艺流程图

(2) 转换法

转换法是将数字线划地图（DLG）数据按照图式要求符号化，并设定 DRG 生产规定颜色，然后进行矢量—栅格数据转换，生成 DRG。这种方法在实际生产中很少采用。

2. 数字线划地图 DLG 的生产与技术方法

数字线划地图的生产方法有如下 3 种主要形式。

(1) 基于地形图扫描矢量化法

这是目前最主要的获取数字划线地图的方法。其基本方法就是将地形图扫描后,经过图幅定向、几何校正后(这一部分工作实质上就是 DRG 图生产的主要部分),通过人机交互矢量化,得到数字划线地图 DLG。其主要工艺流程如图 6-20 所示。

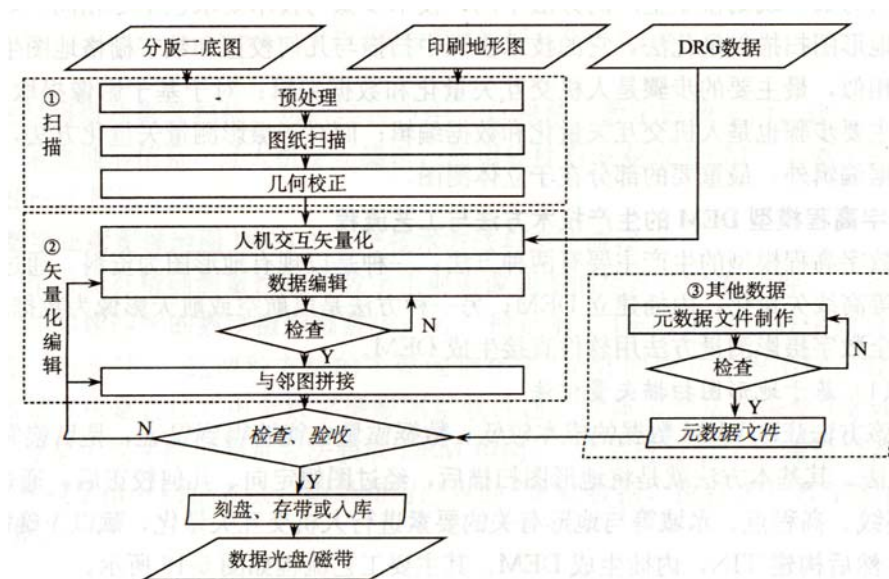


图 6-20 基于地形图扫描矢量化法 DLG 生产工艺流程

(2) 基于影像提取法

基于影像提取法,主要是利用 DOM 和调绘资料,采集相关的地理要素数据,获取 DLG 的方法。这种方法是更新 DLG 的主要方法。其基本工艺流程如图 6-21 所示。

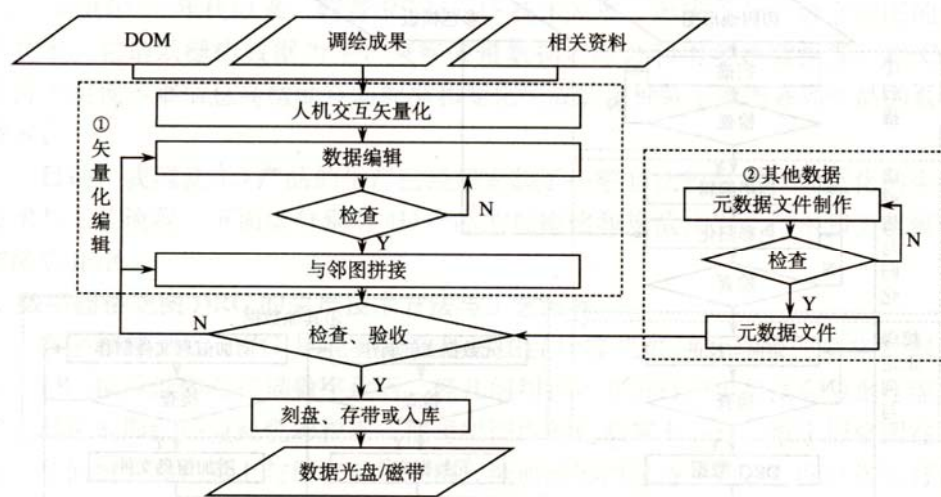


图 6-21 基于影像矢量化提取法 DLG 生产工艺流程

(3) 基于摄影测量矢量化方法

基于摄影测量矢量化方法主要有两种，一种是解析摄影测量的方法，一种是全数字摄影测量的方法。这两种方法的区别主要在于采用的摄影测量的方法不同，在矢量采集过程中的技术流程基本相同。这里只给出全数字摄影测量方法的工艺流程（图 6-22）。

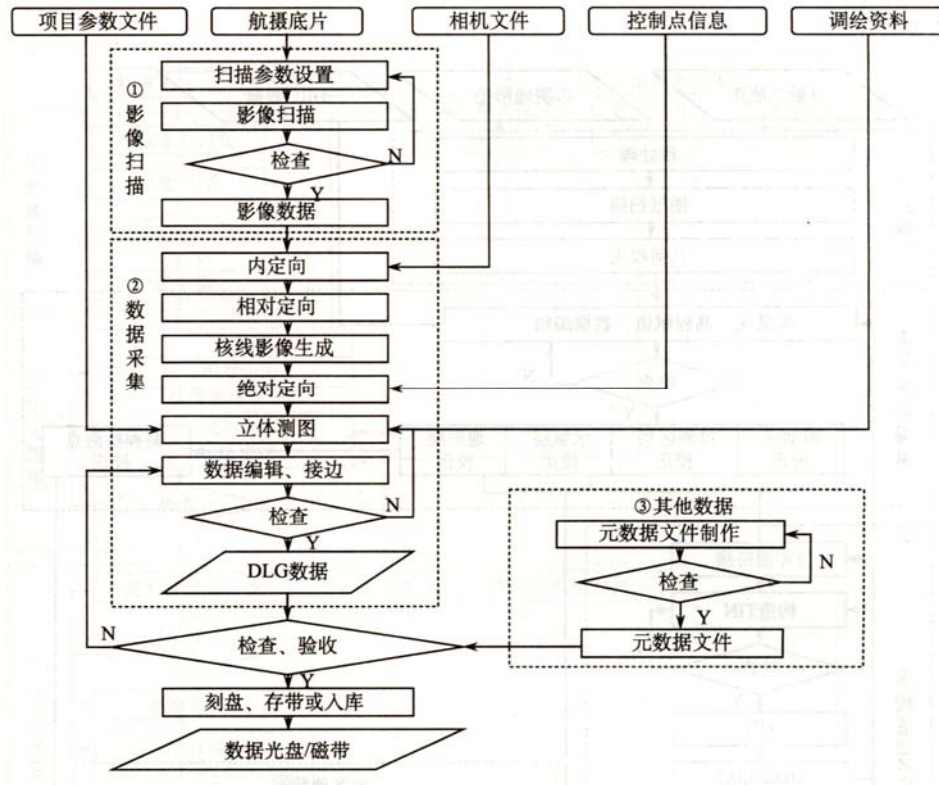


图 6-22 全数字摄影测量法 DLG 生产工艺流程

因为数字线划模型生产的方法不同，技术步骤与技术要求也不尽相同。对于基于地形图扫描矢量化法，它的技术步骤中扫描与几何校正和数字栅格地图生产基本相似，最主要的步骤是人机交互矢量化和数据编辑；对于基于影像提取法，它的主要步骤也是人机交互矢量化和数据编辑；而对于摄影测量矢量化方法，除了数据编辑外，最重要的部分在于立体测图。

3. 数字高程模型 DEM 的生产与技术方法

数字高程模型的生产主要有两种方法：一种是以现有地形图为资料，通过地形图等高线矢量化，内插建立 DEM；另一种方法是以航空或航天影像为数据源，通过全数字摄影测量方法用软件直接生成 DEM。

(1) 基于地形图扫描矢量化法

该方法获取 DEM 数据的成本较低，数据质量也能够得到保证，是目前常用的方法。其

基本方法就是将地形图扫描后，经过图幅定向、几何校正后，通过对等高线、高程点、水域等与地形有关的要素进行人机交互矢量化，赋以正确的高程，然后构建 TIN，内插生成 DEM。其主要工艺流程如图 6-23 所示。

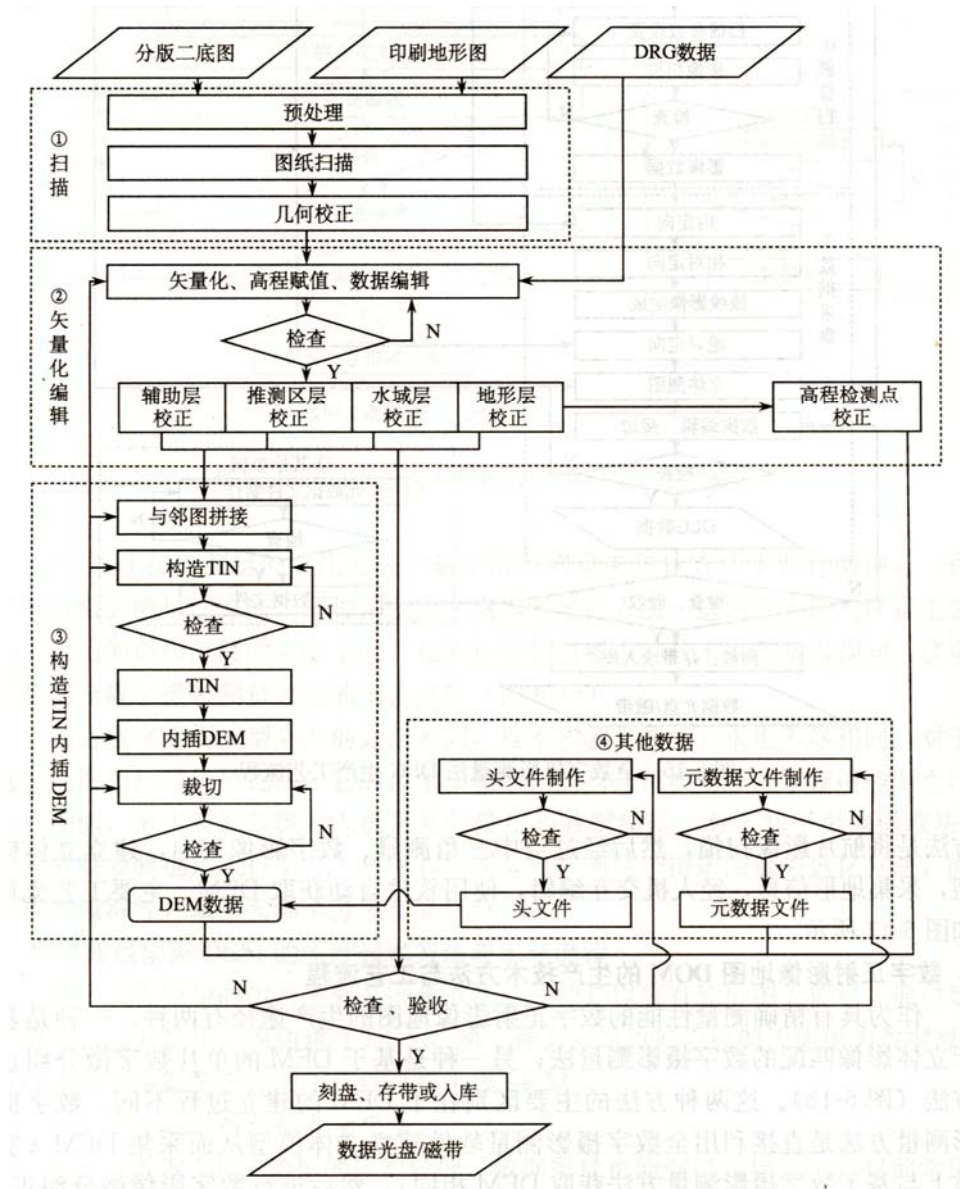


图 6-23 基于地形图扫描矢量化法 DEM 生产工艺流程

(2) 基于全数字摄影测量法

该方法获取 DEM 数据精度高，质量好，是获取 DEM 的重要手段。其基本方法是将航片影像扫描，然后经过空中三角测量、数字影像定向，建立立体模型，采集地形信息，经人机交互编辑，使用软件自动获取 DEM。主要工艺流程如图 6-24 所示。

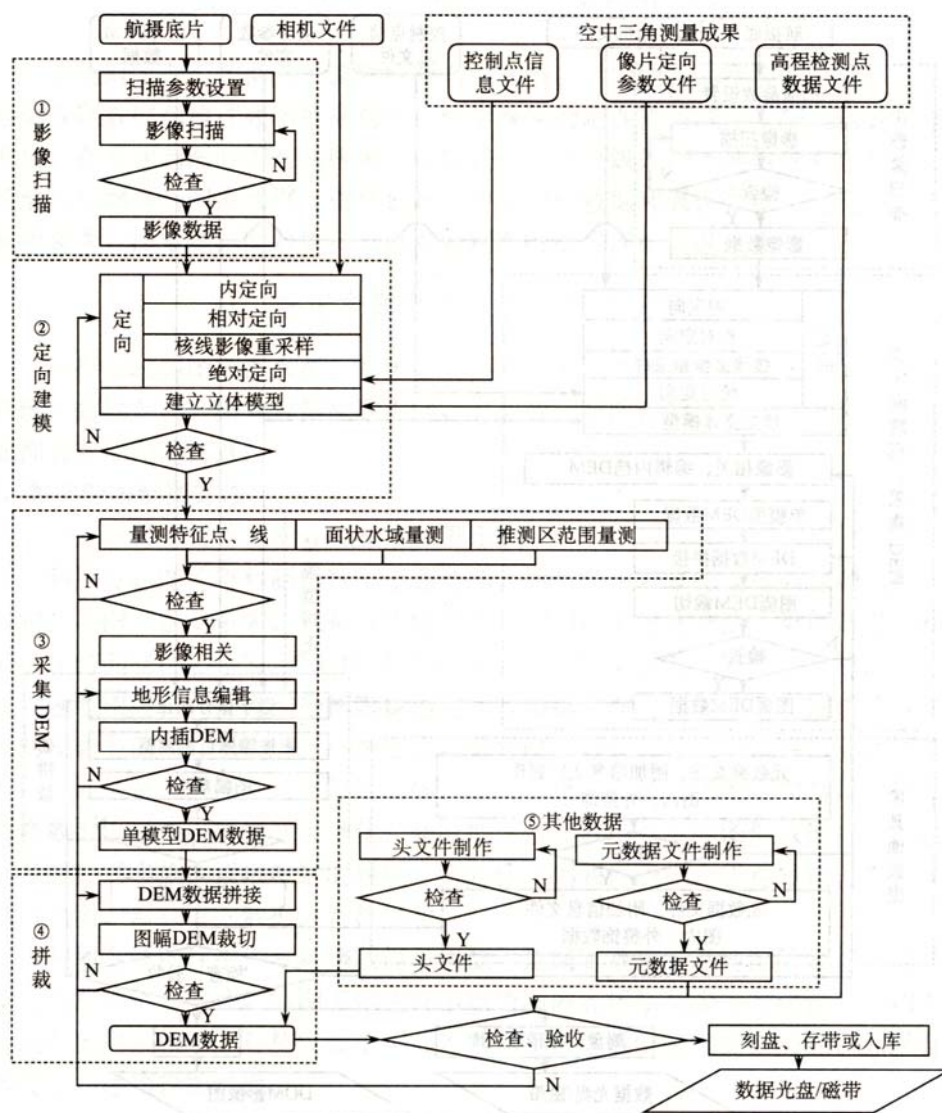


图 6-24 基于数字摄影测量法 DEM 生产工艺流程

4. 数字正射影像地图 DEM 的生产与技术方法

作为具有精确测量性能的数字正射影像地图的生产途径有两种，一种是基于立体影像匹配的数字摄影测量法；另一种是基于 DEM 的单片数字微分纠正方法（图 6-25）。这两种方法的主要区别在于 DEM 的建立过程不同。数字摄影测量方法是直接利用全数字摄影测量软件建立立体模型从而采集 DEM（实质上与基于数字摄影测量方法获取 DEM 相同），然后进行数字影像微分纠正；而单片数字微分纠正方法，则是利用已有的 DEM 数据，进行单片数字影像微分纠正。

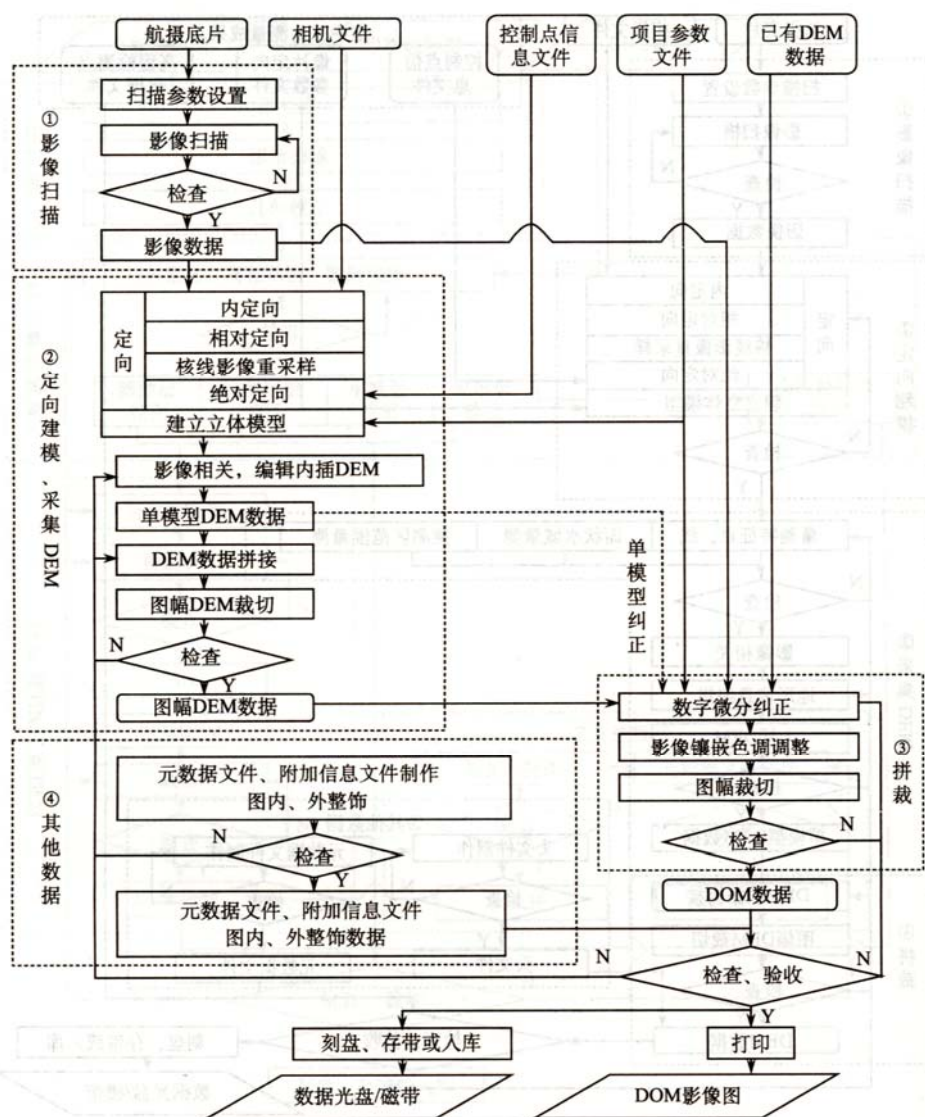


图 6-25 DOM 生产工艺流程图

解析空中三角测量（电算加密），为纠正和测图提供了定向点或注记点（碎部点），以及作业时所需要的仪器安置元素数据。电算加密前需取得以下各种资料：航摄质量鉴定书，涤纶片（透明正片），图历表（卡），野外控制、调绘像片，布点略图，各种观测计算手簿，前一工序的技术设计书等。测区中如有大的河流湖泊水网地段，还需搜集水文资料。根据规范、图式和技术设计书的精度要求，分析所搜集的资料，确认是否能满足内业作业要求，再依据航空摄影资料和外业布点情况，合理选用量测仪器和平差计算程序，编制电算加密计划。

解析空中三角测量、内业测图和编辑的详细技术要求可参照航空摄影测量内业规范（GB/T 7930，GB/T 13990，GB/T 12340）

3.5 根据项目要求，确定在航空摄影测量中采用机载激光扫描、定位定向系统等技术的实施方案

考点分析：

- 1) LiDAR 原理、组成
- 2) LiDAR 数据处理
- 3) POS 原理
- 4) POS 应用现状

机载激光雷达测量技术目前主要用于快速获取大面积三维地形数据、快速形成 DEM 等数字产品，特别是用于测绘森林覆盖区域和山区的真实地形图；将机载激光雷达技术作为一种新的技术手段用于快速生成城市地区的数字表面模型（DTM），进行地物自动提取，由数字地表模型生成数字高程模型。

机载激光雷达测量技术是一种高新技术，该系统在高温条件工作不太理想。目前的机载激光雷达测量系统功率达，操作较复杂，可靠性较差，系统成本造价高。而摄影测量系统操作更容易，更简单，也更可靠，系统成本造价便宜。机载激光雷达测量系统中激光器的使用寿命短（主要取决于工作温度的高低），一般的激光器的适用寿命是壹万小时，而有些系统会随着长时间的使用，其性能指标迅速下降。相反质量可靠的摄影相机能用数十年时间。目前，机载激光雷达测量系统在同时提供多光谱信息数据方面还不能同被动光学传感器相媲美。在相同的飞行高度和飞行速度，且航带间的重叠宽带一样的条件下，摄影测量拍摄的区域面积是激光雷达扫描面积的 2.9 倍。两种技术的具体比较如下：

（1）生产 DTM/DSM。对于机载激光雷达测量系统，一些随机商用软件可能提供从 DTM 到 DSM 的滤波算法。这些算法仅依据稽核特征将房屋或树等地物过滤，该方法只适用于过滤相对平坦地区的独立房屋或树。在崎岖不平的山地，某些地形特征也可能被过滤掉，如山顶。另外，当激光脚点中地形点所占的比率偏小时，如林区的小块空地或建筑物密集区一条窄小的街道，那么这些地形点就可能当成是非地形点而被过滤，而此时占多数的非地形数据反而被保留下来。为了从 DSM 中得到更为理想的 DTM，除了利用几何信息之外，还要依据

其他辅助信息，如多光谱数据、纹理等。由于每个国家对 DTM 的定义有所差别，因此，实际上全自动化地探测非地形地物的过程非常困难，有时甚至不可能。在使用机载激光雷达测量技术时，原始观测数据的采样密度及分布就成为保证 DTM/DSM 质量和保真度的决定因素。

（2）精确对比。机载激光雷达测量同摄影测量相比，所受的误差影响因素更多，理论推导误差传播模型更为复杂。对摄影测量来讲，平面和高程相互独立，能分别加以考虑。另外，机载激光雷达测量中存在的常数项系统误差较摄影测量系统中的该项误差要大。机载激光雷达测量中，姿态误差对高程精度的影响会随着扫描角度的增大而增大，尤其是飞行高度较高时。机载激光雷达测量系统供应商给出的精度较为乐观，高程方向的精度要高出平面精度的 2~5 倍。一般来讲，在 400-1000m 航高范围，摄影测量所获得的精度平均要比机载激光雷达测量所获得的精度要略好一些。当然有时候后者比前者好，对于更高的飞行高度，如果姿态精度较高且有足够的激光回波能量，那么后者所获得的精度比前者高。摄影测量所获得的平面精度要高出高程精度的 1/3；而机载激光雷达高程方向的精度要出平面精度的 2-5 倍，对机载激光雷达测量而言，在坡度较大的地方，平面位置的精度也会影响高程方向的精度。

（3）地形质量。尽管机载激光雷达测量的原始数据精度较高，密度也较大，但由此获得的 DTM 的地形质量并非总令人满意的。因为机载激光雷达测量具有一定的盲目性，数据采样时并不能保证在关键地形点采样。除了缺乏明显的特征线和特征点模型外，最主要的原因还是用于过滤原始数据的滤波算法并非智能化的图形处理方法，有时不能区分要保留的地物脚点与需过滤得目标物体脚点。所以用机载激光雷达测量所获取的 DTM 往往较平滑，而且会丢掉一些重要的地形特征信息。在裸露地区，获取高质量 DTM 的最好方法还是传统手工航空摄影测量手段。

（4）生产时间。毫无疑问，机载激光雷达测量直接获取距离观测值，DTM 的生产要比传统摄影测量快很多。

（5）成本。摄影测量的成本大家都非常清楚，而机载激光雷达测量生产同类产品的成本对大多数人来说还缺乏了解。该技术还处在开发应用阶段，市场也不稳定，所以有时为了吸引更多的用户，价格可能会定得很低。此外，每个供

应商计算成本的方法也不同，并且他们彼此间还在竞争。整个项目的成本主要取决于仪器厂家、测区大小、点的密度、后处理方式以及一些额外的开支等。就生产 DTM 而言，机载激光雷达测量要比摄影测量手段便宜不少。德国国家测绘局通过成本效益分析计算表明，对于同一项任务，用机载激光雷达测量技术实现的成本仅为用航空摄影测量技术实现成本的 25%~33%。

当然，就将来的发展而言，机载激光雷达技术具有更大的发展潜力，它是一种新技术，还有许多发展空间，特别是数据处理算法以及软件和系统的开发方面。随着用户数量的增加，其应用领域将越来越广，特别是随着激光技术的进一步发展，将促进机载激光雷达测量技术的革新。机载激光雷达测量系统同被动光学传感器以及 GPS/INS 系统的集成，将给整个摄影测量领域带来一场新的技术革命。

高精度定位定向系统(Position & Orientation System , 简称 POS 系统) 是机载雷射探测与测距系统的关键, 其核心思想是采用动态差分 GPS (即 Differential GPS) 技术和惯性测量装置 IMU(即 Inertial Measurement Unit) 直接在航测飞行中测定感测器的位置和姿态, 并经过严格的数据处理, 获得高精度的感测器的六个外方位元素, 从而实现无或极少地面控制的感测器定位和定向, POS 系统又称 GPS/IMU 集成系统。

随着全数字化、全自动化摄影测量的发展，作为摄影测量内业第一道工序的上述自动空中三角测量，从摄影测量软件角度讲，已是效率很高、自动化程度也很高的工序之一了，但离全自动化的目标还有一步之遥。若能利用 GPS/POS 数据进行 POS 辅助空中三角测量，则其效率可望进一步提高，在有些情况下，完全可以实现 POS 辅助的全自动空中三角测量。

如果将影像点坐标观测值与地面控制点坐标一道进行区域网平差，这便是经典的解析空中三角测量方法；如果将该观测值与 POS 数据(必要时可加入少量的地面控制点) 一并进行区域网联台平差，这就形成了 POS 辅助空中三角测量。

结果表明：1:50000 比例尺航测成图可无需地面控制点和空三加密；1:5000~1:10000 比例尺航测成图可省去地面控制，加测少量控制点参与平差，提高整体精度；1:1000 和 1:2000 比例尺航测成图可大大减少野外像控点测量。

综观上述自动空中三角测量作业过程，对于模型连接点，利用多像影像匹

配算法可高效、准确、自动地量测其影像坐标，完全取代了常规航空摄影测量中由人工逐点量测像点坐标的作业模式。但对于区域网中的地面控制点，目前还缺乏行之有效的算法来自动定位其影像，只能将数字摄影测量工作站当做光机坐标量测仪由作业员手工量测。就 POS 辅助空中三角测量而言，如果需要进行高精度点位测定，在区域网的四角也还需要量测 4 个地面控制点；如果是进行高山区中小比例尺的航空摄影测量测图，则可考虑采用无地面控制的空中三角测量方法，此时可完全用 POS 摄站坐标取代地面控制点，实现真正意义上的全自动空中三角测量。

POS 系统及其应用

航空摄影测量定位采用多重叠航摄影像通过交会方法来计算地面目标点的 3 维空间坐标,即从航空遥感影像中提取非语义信息,是航空摄影测量最核心的技术之一。自计算机问世以来,航空摄影测量定位理论和方法得到了飞速发展。特别是近半个世纪以来,为了实现高精度摄影测量几何定位,一方面在不断精化航空摄影测量区域网平差数学模型、改进计算方法,另一方面在深入研究区域网中地面控制点的布设方案和减少地面控制点的措施。随着传感器技术、空间定位技术和计算机技术的发展,航空遥感定位理论越来越严密、方法越来越先进、所需地面控制点越来越少,现正朝着无地面控制方向发展。

80 年代中期,差分 GPS 动态定位技术被成功用于测定航空摄影瞬间摄站的空间位置,利用其进行空中三角测量(简称 GPS 辅助空中三角测量)减少了航空摄影测量对控制点的需求,但由于无法测量姿态数据,仍未能完全摆脱地面控制点的束缚。在 GPS 辅助空三的基础上,20 世纪 90 年代后期,美国、德国、加拿大等国家陆续采用 POS 系统来获取摄影测量辅助数据,进一步减少对控制点的需求。POS (Position & Orientation System) 系统是由差分 GPS 和高精度惯导系统 (INS) 组成的,差分 GPS 可以获取高精度的位置测量数据,惯导系统可以输出高采样率的位置数据,通过差分 GPS 修正惯导系统可以获取高精度、高采样率的位置信息,惯导系统的精密陀螺可以输出高精度的姿态数据。这样通过 POS 系统,可以直接获取摄影曝光时刻航摄仪的空间位置和姿态,即影像的外方位元素,减少利用控制点解算外方位元素的需求,甚至可以直接利用 POS 系统测定的外方位元素进行航空摄影测量影像的定向。

POS 系统测定的影像外方位元素任然存在较大的系统误差,因此 POS 数据在用于航空遥感对地目标定位时,主要有两种方式:

(1) 集成传感器定向,它是考虑到 POS 系统所获取的像片外方位元素含有系统误差,将其作为带权观测值引入光束法区域网平差,以整体解求影像的定向参数和目标点的空间坐标,亦称为 POS 辅助空中三角测量。

(2) 直接传感器定向,它是在利用检校场进行 POS 辅助空中三角测量、精确解求 POS 系统误差改正参数的基础上,对所获取的像片外方位元素进行系统误差补偿,以获得高精度的像片外方位元素,再利用立体像对上同名像点的像平面坐标,按空间前方交会方法计算出相应地面点的物方空间坐标,实现直接对地目标定位。

目前, POS 数据主要应用在以下方面: POS 辅助光束法区域网平差、基于 POS 的影像直接定位、POS 辅助影像匹配、POS 辅助核线影像生成、POS 辅助变换检测等。

1. POS 辅助光束法区域网平差

POS 系统获取的影像定向参数具有较大的系统误差,在利用其重建立体模型实施安置元素测图时,会产生很大的模型上下视差,且高程难以满足大比例尺地形测图的精度要求,为此需要将 POS 系统测定的航摄仪位置和姿态作为观测值与摄影测量观测值进行联合平差以提高其精度。

POS 辅助光束法区域网平差是通过对 POS 系统观测数据进行严格的联合数据后处理(动态卡尔曼滤波)直接测定航摄仪的空间位置和姿态,并将其与像点坐标观测值进行联合平差,以整体确定地面目标点的 3 维空间坐标和 6 个影像外方位元素,实现少量或无地面控制点的摄影测量区域网平差。通过少量的地面控制点平差消除系统误差,可以避免设置专门检校场对 POS 系统进行检校。

1) POS 系统中的严格几何关系

POS 系统中,航摄仪、GPS、IMU 分别具有一下严格几个关系:

对于航摄仪来说,像点的像平面坐标 (x, y) 和影像物方点的物方空间坐标 (X, Y, Z) 之间满足中心投影的共线条件方程:

$$\begin{aligned} x &= -f \frac{a_1(X - X_s) + b_1(Y - Y_s) + c_1(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)} \\ y &= -f \frac{a_2(X - X_s) + b_2(Y - Y_s) + c_2(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)} \end{aligned} \quad (1.11)$$

式中, f 为航摄仪主距; (X_s, Y_s, Z_s) 为摄影中心 S 在物方空间坐标系中的地面坐标,即影像外方位线元素; $a_1, a_2, \dots, c_3$ 是为用影像外方位角元素

ϕ, ω, κ 表示的方向余弦。

设机载GPS天线相位中心A、航摄仪投影中心S 在地面坐标系中的坐标分别为 (X_A, Y_A, Z_A) 和 $((X_S, Y_S, Z_S)$ ，若A 点在航摄仪本体坐标系中的坐标为 (u, v, w) ，则利用像片姿态角 ϕ, ω, κ 所构成的正交变换矩阵R可得到如下关系式：

$$\begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{bmatrix} + R \cdot \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \quad (1.12)$$

当IMU 测定的航摄仪空中姿态角 ϕ', ω', κ' 与旋转矩阵R的关系为：

$$\begin{aligned} \phi' &= -\arctan\left(\frac{a3'}{c3'}\right) \\ \omega' &= -\arctan(b3') \\ \kappa' &= -\arctan\left(\frac{b1'}{b2'}\right) \end{aligned} \quad (1.13)$$

式(1)、式(2) 和式(4) 表达了带 POS 数据的航空遥感影像中像点坐标、GPS 和 IMU 测定的影像定向参数与影像外方位元素间的严格几何关系,这是 POS 数据与摄影测量观测值进行联合平差的理论基础。

2) POS 系统中的观测值误差模型

在 POS 辅助光束法区域网平差中有三类原始观测值:像点坐标、GPS 测定的摄站坐标(简称 GPS 摄站坐标)、IMU 测定的航摄仪姿态角(简称 IMU 姿态角)。由于镜头畸变、底片变形、影像数字化、影像自动相关等因素影响,像点坐标观测值会存在系统误差。对于模拟光学影像的数字化影像,一般采用带 3 个附加参数的 Bauer 模型就能较好地补偿其像点坐标系统误差:

$$\begin{aligned} \Delta x &= s_1 x(x^2 + y^2 - 100) - s_3 x \\ \Delta y &= s_1 y(x^2 + y^2 - 100) + s_2 x + s_3 y \end{aligned} \quad (1.14)$$

根据研究,当一条航线的连续飞行时间不超过 15 min 时,基于载波相位观测量的 GPS 动态定位会产生随航摄飞行时间 t 成线性关系的系统误差:

$$\begin{aligned} \Delta X_A &= ax + (t - t_0)bx \\ \Delta Y_A &= ay + (t - t_0)by \\ \Delta Z_A &= az + (t - t_0)bz \end{aligned} \quad (1.15)$$

IMU 测姿较 GPS 定位具有更大的漂移误差,它也是随航摄飞行时间 t 线性变化的。仿式(6),对 IMU 姿态角系统误差亦可采用式(7) 改正:

$$\begin{aligned}
\Delta\varphi' &= a\varphi + (t - t_0)b\varphi \\
\Delta\varpi' &= a\varpi + (t - t_0)b\varpi \\
\Delta\kappa' &= a\kappa + (t - t_0)b\kappa
\end{aligned} \tag{1.16}$$

式(6) 和式(7) 中的 t_0 为参考时刻。当视漂移误差为区域网不变量或航线不变量时,可分别取用区域网或航线中开始影像的曝光时刻。

3) POS 系统中的区域网平差误差方程

实施 POS 影像定向参数与像点坐标观测值的联合平差时,以像点坐标、GPS 摄站坐标和 IMU 姿态角为观测值,视物点地面坐标、影像外方位元素以及各种系统误差改正参数为待定参数。当航摄仪内方位元素已知时,在未知数近似值的邻域内对 POS 系统各个严格观测方程按泰勒级数展开至一次项,便可得误差方程的矩阵形式:

$$\begin{aligned}
V_x &= Bx + A_x \cdot t + S \cdot s - L_x, & \text{权阵 } E \\
V_G &= A_G \cdot t + R \cdot r + D_G \cdot d_G - L_G, & \text{权阵 } P_G \\
V_I &= A_I \cdot t + M \cdot m + D_I \cdot d_I - L_I, & \text{权阵 } P_I
\end{aligned} \tag{1.17}$$

式中 (V_x , V_G , V_I) 分别为像点坐标、GPS 摄站坐标和 IMU 姿态角观测值改正数向量; $x = [\Delta X, \Delta Y, \Delta Z]^T$ 为待定点坐标未知数增量向量; $t = [\Delta\varphi, \Delta\varpi, \Delta\kappa, \Delta X_s, \Delta Y_s, \Delta Z_s]^T$ 为影像外方位元素未知数增量向量; $s = [s_1, s_2, s_3]^T$ 为自检校参数向量; $r = [\Delta u, \Delta v, \Delta w]^T$ 为 GPS 偏心分量增量向量; $dG = [aX, aY, aZ, bX, bY, bZ]^T$ 为 GPS 定位漂移误差改正参数向量; $m = [\Delta\varphi_1, \Delta\varpi_1, \Delta\kappa_1]^T$ 为 IMU 视准轴误差增量向量; $d_I = [a\varphi, a\varpi, a\kappa, b\varphi, b\varpi, b\kappa]^T$ 为 IMU 测姿漂移误差改正参数向量; $B, A_x, A_G, A_I, S, M, D_G, D_I$ 为相应未知数的系数矩阵,即各观测方程对未知数的一阶偏导数; L_x, L_G, L_I 分别为像点坐标观测值残差向量、GPS 摄站坐标观测值残差向量、IMU 姿态角观测值残差向量。

依照像点坐标、POS 系统提供的 GPS 摄站坐标及 IMU 姿态角的测量精度,分别给予三类观测值不同的权,则可用最小二乘平差方法求解物点的三维地面坐标和影像外方位元素的最或是值。由于误差方程中顾及了 POS 系统观测值的累积误差,引入了适当的系统误差补偿模型,则可在平差过程中同时解求系统误差改正参数。当平差迭代收敛时,就能自检校并自消除 POS 系统定位测姿所产生的位置平移和随时间的线性漂移误差,提高了影像外方位元素的测定精度,从而避免了

利用检校场单独进行的专门 POS 系统误差检校。武汉大学袁修孝的上初步试验证明,这种方法能够满足我国测绘各种地形图的精度要求。

2. 基于 POS 的影像直接定位

航空遥感是目前获取高分辨率空间信息数据主要的手段之一。其数据获取与处理的过程主要包括航空遥感资料获取、野外控制测量和复杂的内业处理 3 个阶段,其中第 2 阶段(野外控制测量)获得的资料主要应用于内业空三加密和外方位元素解算,也就意味着内业成图的进度取决于外业控制测量所需的时间。因此,长期以来,对于较大区域的数据获取与处理往往要经历第一年航空遥感、第二年野外测量和第三年内业制图的漫长过程,成图的现势性较差。基于 POS 系统直接地理定位技术可以无需(或少量)地面控制获取像片的外方位元素,直接用于高精度的 DOM 制作,省掉了复杂费时的空三加密工序,降低了成本,大大缩短了成图周期。

基于 POS 系统直接地理定位是指利用 POS 系统测量的航摄仪位置参数和姿态参数,通过数据的联合后处理、系统误差检校与改正,获得测图所需的每张像片高精度外方位元素。直接利用高精度的外方位元素生成数字正射影像图。

已有研究试验表明,基于 POS 系统的航空遥感直接对地目标定位至少需要利用带有 1 个平高地面控制点的检校场对 POS 系统进行检校才能消除系统误差;在 WGS84 坐标系中,可以获得较高的定位精度,而转换到国家 80 坐标系下,必须对高程进行大地水准面拟合改正。目前利用 POS 系统进行影像直接定位的成功应用案例有:中国科学院对地观测与数字地球科学中心于 2007 年采用了 POS 辅助 UCD 数字相机航空摄影测量技术,为湖南省望城县快速大面积制作了 1:1000 大比例尺数字地图产品。

3. POS 辅助影像匹配

影像匹配是数字摄影测量的关键问题,影像匹配的精度直接影像前方交会获得的地面点高程精度。传统的匹配方法对于影像的灰度有很大的依赖性,将 POS 观测值应用影像匹配则在一定程度上避免了影像灰度条件的过度依赖,提高匹配的速度和可靠性

POS 数据辅助立体影像匹配,最主要的作用是确定立体模型及与周围邻近像片之间的相对位置。利用 POS 系统提供的像片近似外方位元素能够确定相邻

航带像片间的邻近关系,辅以地面控制点能够确定模型初始视差,以此为基础还能够提供匹配点在周围重叠影像上的初始预测位置,减少搜索时间,提高匹配速度。

利用 POS 数据确定的航带内和航带间影像之间的相对位置,不受影像条件的制约,不会出现传统的灰度相关确定初始位置发生较大偏差的情形,具有很好的可靠性。

在实际应用中,POS 数据往往与其他匹配策略结合应用,如采用有粗到细的金字塔策略加快速度,采用松弛迭代的搜索策略提高匹配的可靠性等。

4. POS 辅助核线影像生成

核线影像是生成视差图的基础,在立体观察中有更好的立体视觉效果。同时,核线影像是数字摄影测量中影像匹配的基础。有了核线影像,根据同名像点一定位于同名核线上的理论,可以将二维影像相关转化成一维影像相关,能显著提高计算效率和可靠性,从而使影像信息提取的许多问题变得简单。由于生成核线影像对需要用到立体影像的相对方位元素,长期以来,航摄影像的相对方位元素是未知的,只有通过匹配出大量的同名像点,才能将其解求出来,因此,常规航空摄影测量生成核线影像时需首先进行立体像对的相对定向,以恢复摄影时两摄影光束的相对位置关系。

POS 系统出现以后,在获取影像的同时可以直接测定影像的 6 个定向参数,为影像外方位元素的获取提供了一种崭新的手段。因此,可以利用 POS 系统提供的影像定向参数从所获取的航空影像生成核线影像。

POS 辅助核线影像生成技术的理论基础依然是航空影像与其核线影像间所存在的几何关系,以及由此推导出影像对中同名核线影像方程。将 POS 所测定的影像的外方位元素带入到该方程中,就可以从航空影像生成核线影像,并利用核线影像对进行立体观测以确定影像上下视差。随着航空数码相机在航空摄影测量中的应用越来越广泛,只要将航空数码相机与 POS 系统相连,在获取数字航空影像的同时亦可得到影像的定向参数。立体测图时,直接利用所获取的影像定向参数对立体像对进行灰度重采样就可以直接生成核线影像,无需经过相对定向,实现安置元素测图。众多研究试验表明,用经系统误差补偿后的 POS 影像定向参数所生成的核线影像对完全可以用于立体观测,真正实现无需加密的航空摄影测量作业。

5. POS 辅助变换检测

传统的变换检测技术首先要进行不同时期影像的配准, 尽管影像配准技术应经得到广泛而深入的研究, 达到了一定的配准精度。不同时期影像的配准依然存在两个主要缺陷: 一个是由于两期航空影像的灰度、比例尺等存在差异, 使特征点或特征线的匹配难度加大, 通常情况下只能得到比较少甚至很少的同名点线; 另一个是用很少的同名特征去计算全局映射函数, 会产生较大的偏差。此外, 映射方法都没有采用严格中心投影成像模型, 对房屋等比较高的物体产生的视差和投影差无能为力。因此, 在建筑物密集的地区, 采用多项式等配准模型进行全局映射所带来的配准误差是无法估计的。

利用 POS 辅助进行变换检测的基本思想是: 首先利用老影像的 POS 数据(或已知的影像外方位元素) 和两期影像的同名点对解算同一地区新影像的外方位元素; 然后对老影像的立体像对进行匹配, 得到众多的匹配点, 并利用影像的外方位元素实施前方交会, 得到该点的地面坐标; 再根据共线条件方程反求该点在新影像上的位置, 作为两期影像匹配点的初始位置; 接着取出新老两张影像进行匹配, 得到每个点的相关系数; 最后由相关系数决定需要下一步检测的窗口, 在检测窗口内进行边缘提取和边缘跟踪, 再进行链码匹配, 通过匹配不一致性发现变化的区域。方法的流程如下图所示:

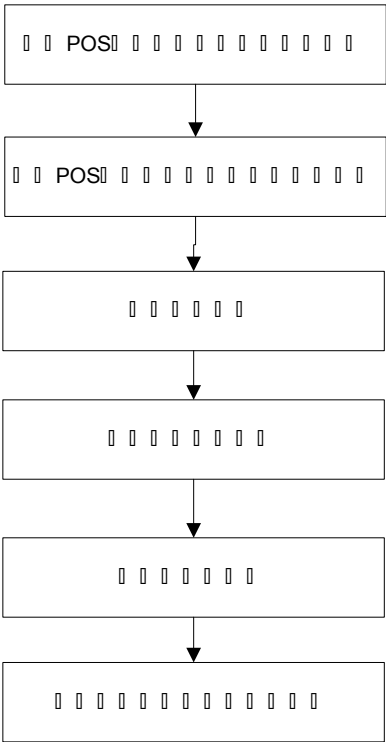


图 1.8 POS 辅助变换监测流程图

将 POS 数据的航空影像进行了变化检测,与传统的先提取特征点、角点、线元素,配准后再进行变化检测不同,给出了一种不需要全局配准的新的影像变化检测方法,在一定程度上缓解了不同时期影像配准难的问题。

激光雷达及其数据处理

激光雷达是一种新型传感器。该设备将激光用于回波测距和定向,直接获取高精度的数字表面模型,还可以通过采集位置、径向速度及物体反射特性(即回波强度数据)等信息为目标分类和识别提供辅助数据。同时,激光雷达扫描系统一般都配置有 CCD 相机获取光学图像,并且能够通过硬件或者后处理软件的方式与激光扫描点云直接配准,为后续应用提供了丰富的数据资源。激光雷达扫描技术使测绘从传统的单点数据采集变为密集、连续的自动数据获取,可以增加数据信息量,提高工作效率。激光雷达扫描技术虽然起源于传统工程测量中的激光测距技术,但由于与现代激光和 POS 定位技术相结合,因此是当代摄影测量与遥感领域的一门新兴技术,不仅为摄影测量与遥感应用提供新型数据获取的手段,同时对数据后处理方法和流程提出了新的挑战。根据激光雷达的载体不同,激光雷达测量技术分为机载激光雷达测量和地面激光雷达测量。

1. 机载激光雷达

机载激光雷达(airbone LiDAR)集激光扫描仪、全球定位系统(GPS)和惯性导航系统(INNS)三种技术于一体,通过主动发射激光,接收目标对激光光束的反射及散射回波来测量回波来测量目标的方位、距离及目标表面特性,能够直接得到高精度的三维坐标信息。与传统的航空摄影测量方法相比,使用机载激光雷达技术可部分地穿透树林遮挡,直接获取地面点的高精度三维坐标数据,且具有外业成本低、内业处理简单等优点,成为摄影测量领域地热点研究方向之一,受到各国研究人员的广泛关注。经过十几年的发展,机载激光雷达系统的硬件技术已经比较成熟,以最新的 Leica ALS60 机载激光雷达系统为例,其激光器脉冲频率已经高达 200kHz,激光测距精度达到厘米级。不过,相对于硬件技术的飞速进步,机载激光雷达数据处理软件的发展相对滞后,数据处理过程中的诸多算法和模型还不够完善,目前国际上还没有十分成熟的机载激光雷达数据处理软件。市场上各种数据处理软件功能不一,优点各异,用户往往需要同时使用多种软件才能完成某项工作。

作为一种多传感器集成系统,机载激光雷达系统内部的误差源十分复杂,同时由于获取的点云数据为离散点缺乏纹理信息,不易进行同名地物匹配和地面控制,为机载激光雷达系统误差的检校与平差带来了难度。目前主流的商业机载激光雷达系统中均集成了中小型幅面的数码相机或数码摄像机,因此将点云数据与影像数据进行融合,能够有效地提高测量的精

度和可靠性，并可进一步简化摄影测量的数据处理流程。

目前国内引进的机载激光雷达系统已有十余套，现已被成功应用于大比例尺测图、带状目标测量、电网设计、输电线路巡线检修、城市三维建模、海岸带测图、生物量监测等领域，获取到的点云数据主要用于快速生成数字高程模型和数字正射影像，在数据应用的深度上，还有很大的潜力可挖。目前国内在机载激光雷达领域的研究方向主要限于点云的显示、滤波以及三维建模等方面，已取得列一定的研究成果，但总体上还没能形成一个完整的数据处理平台。

一部现代的机载激光扫描系统(LiDAR)可安装在飞机或直升飞机上，是一种集激光,全球定位系统(GPS)和惯性导航系统(INS)三种技术与一身的系统，如下图所示。机载激光扫描系统主要组成部分包括：

- ① 用于确定激光雷达信号发射参考点空间位置的动态差分GPS定位系统；
- ② 用于测定扫描装置的主光轴姿态参数的惯性导航系统(IMU)；
- ③ 用于测定激光雷达信号发射参考点到地面激光脚点间距离的激光扫描仪；
- ④ 成像装置，一般为CCD相机，用于记录地面实况，为后续数据处理作参考；
- ⑤ 用于协调协调各传感器的运行、记录所有回波数据、导航数据、扫描时间的实时检测与数据记录设备；
- ⑥ 用于DGPS数据后处理、IMU和DGPS组合姿态确定、不同数据源观测值之间的时间同步、激光采样点的坐标计算、坐标数据的分类与特征提取、数据的融合处理、数据库的设计与管理、数据的格式转换等数据处理软件等。

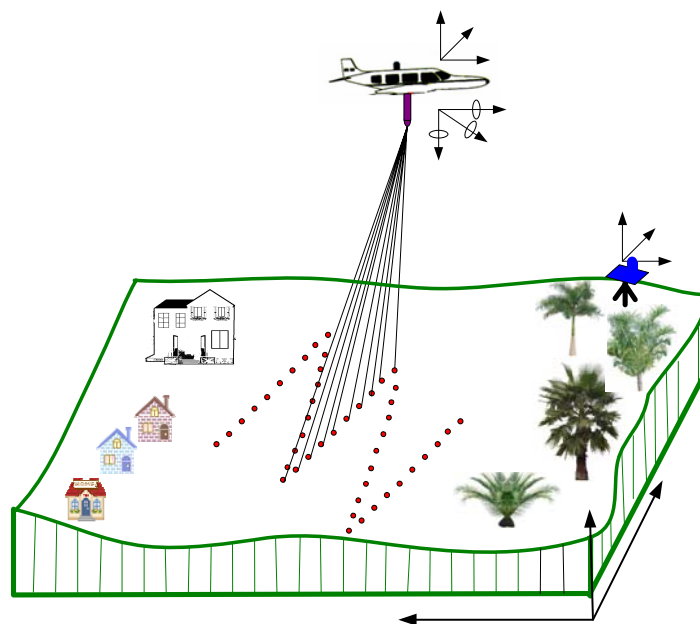


图 4.4.1 LiDAR系统工作示意图

激光扫描是主动工作方式，飞行过程中，LiDAR系统激光器产生并发射一束光脉冲,打在物体上并反射回来，最终被接收器所接收。接收器准确地测量光脉冲从发射到被反射回的传播时间。因为光脉冲以光速传播，所以接收器总会在下一个脉冲发出之前收到前一个被反射回的脉冲。鉴于光速是已知的，传播时间即可被转换为对距离的测量。结合激光发射时刻的位置和从INS得到的激光发射方向，就可以准确地计算出每一个地面光斑的坐标(X,Y,Z)。在扫描装置的作用下，不同的脉冲激光束按照垂直于飞行方向的方向移动，形成对地面上一个条带的采样。而随着飞机的飞行，就可以得到整个被照射区域的数据。同时，可以通过系统集成的高分辨率数码相机获取地面真彩色或红外数字影像信息，作为补充数据源，弥补LiDAR的不足。

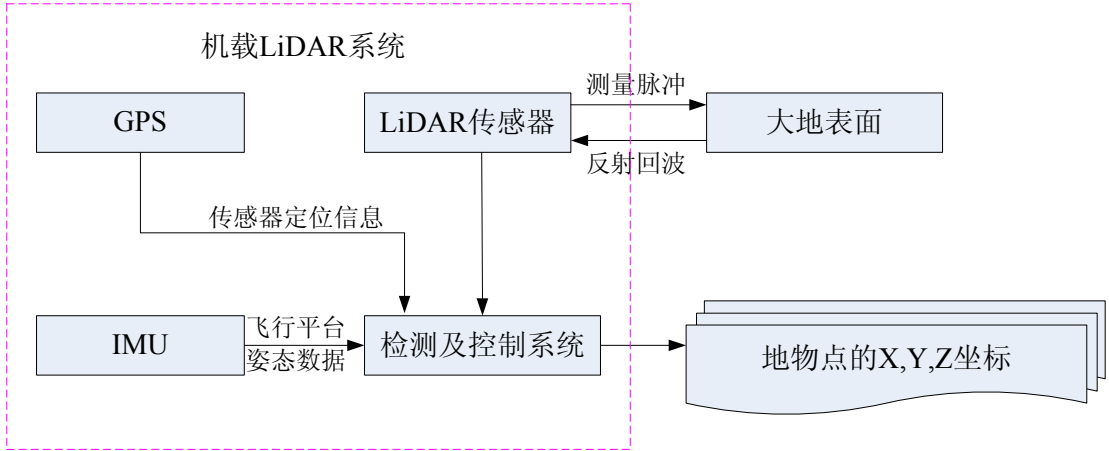
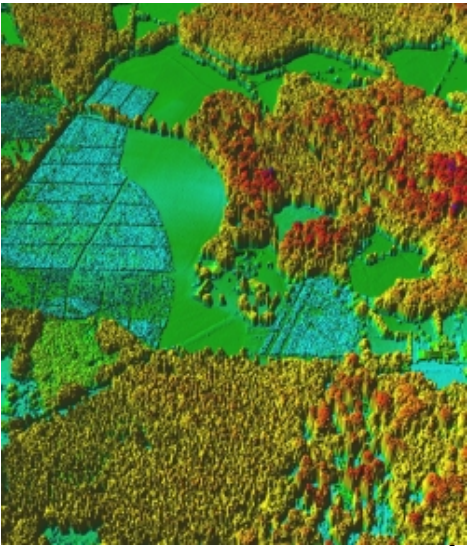


图 4.4.2 LiDAR 系统工作原理

- 具体来说，LiDAR 系统的特性主要表现为：
- (1) 机载激光扫描系统是一种主动式测量方式,受天气影响比摄影测量小,可以 24 小时全天候工作。
 - (2) 机载激光扫描系统的激光脉冲信号能够部分穿透植被的叶冠，能够快速获得高精度和高分辨力的森林或山区的真实地面模型，是唯一能测量森林覆盖地区地面高程的可行技术。
 - (3) 机载激光扫描系统基本不需要或很少需要进入测量现场或布置地面控制点，可以对危险地区安全地实行远距离高精度测量；且速度快、测量数据精度高、外业作业成本低、数据处理自动化成度高等优点。
 - (4) 数据采集高度数字化、自动化；数据处理过程高度自动化。
 - (5) 机载激光扫描系统作业周期快，易于数据更新。



与回波点之间距离

- (6) 时效性强，工期比摄影测量大大缩短。
- (7) 机载激光扫描系统可以进行电力线检查。
- (8) 机载激光扫描系统不受地域地形限制，可同时测量地面和非地面层。
- (9) 能够提供密集的点阵数据(点间距可以小于 1 米)。
- (10) 数据的绝对精度在 0.30 米以内。

LiDAR 系统同摄影测量系统的综合比较见下表：

表 4.4.1 摄影测量同 LiDAR 系统的比较

3.1 比项	3.2 机载激光 扫描系统	3.3 摄影测量
3.4 作方 式	3.5 主动式测 量；	3.6 被动式测量；
3.7 作条 件	3.8 一天 24 小 时内 3.9 随时可以 工作；	3.10 受到天气影响；
3.11 像系 统	3.12 高功率准 直单色光系统；	3.13 框幅式摄影或线阵扫描成 像系统；
3.14 何系 统	3.15 采用点扫 描传感器，是极几何 系统；	3.16 透视投影几何系统；
3.17 据获 取方 式	3.18 逐点采样， 可以直接获取地面点 三维坐标；	3.19 瞬间获取地面一个区域的 数据，不能直接获取地面点三维坐 标；
3.20 小目 标(如 电力 线)的 探测 能力	3.21 3.22 较强	3.23 3.24 较弱

3.25 透能力	3.26 可以穿透 植被等覆盖物，获得 地面点数据。无法穿 透云层；	3.27 无法得到植密集地区的地 面情况，有些波段能够获得云层下的 地面数据；
3.28 行计 划	3.29 相对简单；	3.30 相对复杂，要求比较苛刻；
3.31 物反 射及 影像 质量	3.32 获取的单 色影像一般质量较 低；	3.33 可以获取高质量影像，并 可具有多光谱成像功能；
3.34 TM	3.35 量测点密 度大；	3.36 依靠立体相对的密集匹 配。
3.37 术成 熟程 度	3.38 尚未成熟， 具有很大发展潜力	3.39 软硬件发展多年，成熟
3.40 动化 程度	3.41 自动获取 三维点云	3.42 需要更多的人工干预

2 地面激光雷达

地面激光雷达是一种集成了多种高新技术的新型测绘手段,采用非接触式高速激光测量方式,以点云的形式获取地形及复杂物体三维表面的阵列式几何图形数据。系统主要包括激光测距系统和激光扫描系统,同时也集成 CCD 数字摄影和仪器内部校正等系统。其工作原理是:扫描仪对目标发射激光,根据激光发射和接收的时间差,计算出相应被测点与扫描仪的距离,再跟据水平向和垂直向的步进角距值,即可实时计算出被测点的三维坐标,并将其送入存储设备予以记录储存,经过相应软件的简单处理,即可提供被测对象的三维几何模型。主要步骤为:

- (1) 采用激光测距方式逐点获得仪器中心至目标的斜距;
- (2) 仪器自动读取每一点的水平角和垂直角;
- (3) 求得每一个目标的三维坐标;
- (4) 利用激光发反射强度获得每一个目标的反射率;

(5) 利用内嵌 CCD 视频头，得到每一个目标的光谱值（RGB）。

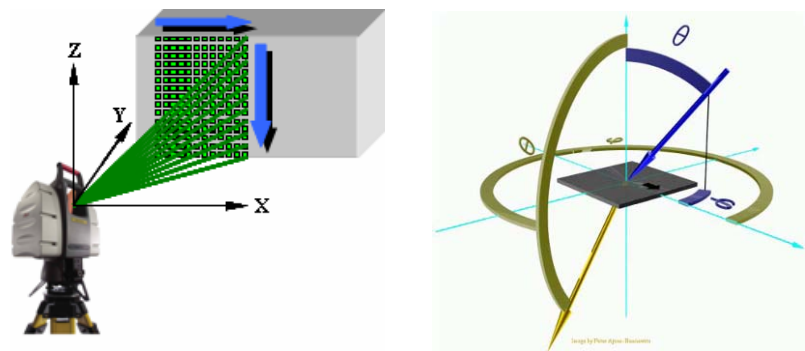


图 4.4.3 地面激光雷达的测量原理

地面激光扫描仪是整个系统的核心，它的性能决定了获取点云数据的质量和效率，而性能是通过一系列指标来刻画。地面激光扫描仪最重要的性能指标有：点位精度、距离和角度分辨率、模型精度、激光波长、测程、光斑大小、扫描速度、测距方式、视场角、激光等级等。地面三维激光扫描仪分为脉冲式和相位式两种。脉冲式激光扫描仪的特点是测程较长，点位精度较高，并配备数码相机，但速度较慢，视场角较小，并需要依靠相机取景扫描，单站作业效率较低。而相位式激光扫描仪的特点是速度非常快，视场角较大，近似于全方位扫描，无需取景操作，单站作业效率较高，但测程较短，点位精度较低。



图 4.4.4 主流地面激光扫描仪

表 4.4.2 激光扫描仪主要性能指标

型号 指标	Leica HDS 6000	Trimble GS 200	Leica ScanStation	Optech ILRIS	Rigel LMS-z420i
点位精度	6mm@25m	15mm@100m	6mm@50m	8mm@100m	6mm@100m
距离分辨率	4mm@25m	7mm@100m	4mm@50m	7mm@1000m	5mm@1000m
角度分辨率	25"	6"	14"	4"	1.8"
模型精度	2mm@25m	12mm@100m	2mm@50m	3mm@100m	20mm@100m
激光波长	690nm	532nm	532nm	1550nm	770-3000nm
测程	79m	350m	300m	1500m	1000m

光斑大小	8mm@25m	3mm@50m	6mm@50m	29mm@100m	25mm@100m
扫描速度	500,000pps	5,000pps	4,000pps	2,000pps	12,000pps
测距方式	相位式	脉冲式	脉冲式	脉冲式	脉冲式
视场角	360×310°	360×60°	360×270°	360×180°	360×80°
激光等级		Class 2	Class 3	Class 1	Class 1

采用地面三维激光扫描测量的基本流程为：

（1）作业面的划分。对于大尺度、多角度的目标点云获取，好的划分不仅可以提高作业效率，还能科学地减少设站次数，进而减少配准次数，降低点云数据的整体误差。可以直接用地面三维激光扫描仪对目标进行低分辨率的快速扫描所获取反映目标的草图作为划分依据。

（2）扫描设站位置的选择。由于受仪器测程限制，布设的距离太近，测站次数增加使得配准次数增加，配准误差的传递影响整体几何精度，同时影响作业效率。布设的距离太远，每个靶标的精度下降，也会影响配准精度。为了既不影响点云精度，又最大限度提高作业效率，可以选择扫描仪的最佳扫描距离作为参考进行设站。

（3）靶标的布设。靶标的布设应结合实际扫描目标的空间分布情况。对于小尺度小范围目标，要保证靶标均匀分布在目标周围，使配准误差得到控制。对于大尺度大范围目标，应根据划分的作业面进行布设，保证作业面之间的有效拼接。

（4）扫描参数设定。扫描参数包括扫描距离、扫描的水平和垂直间隔、重复采样次数等。

地面激光雷达扫描作业流程为所示。



图 4.4.5 操作流程：设站、量仪器高、扫描参数设定

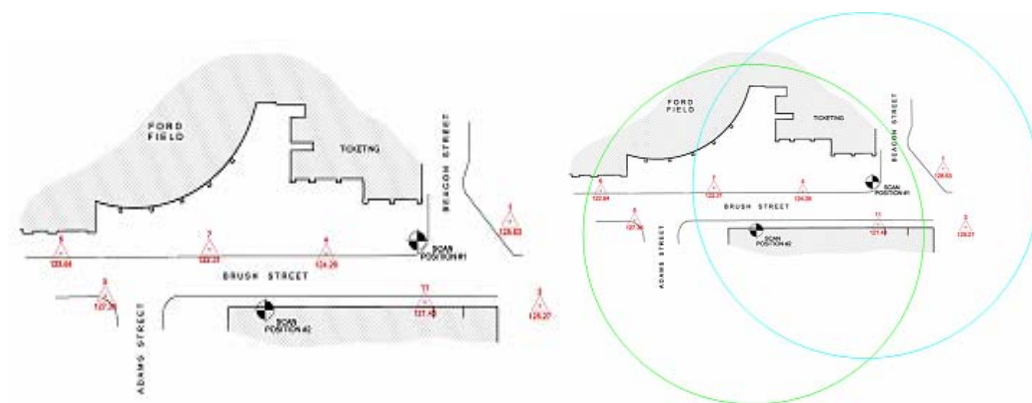


图 4.4.6 反射标志的布设和测站连接

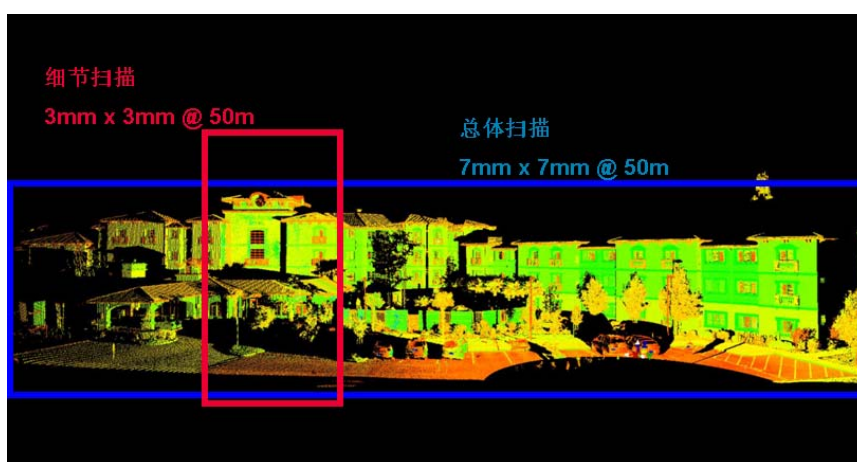


图 4.4.7 由粗到细的扫描策略

地面三维激光扫描的流程图如下：

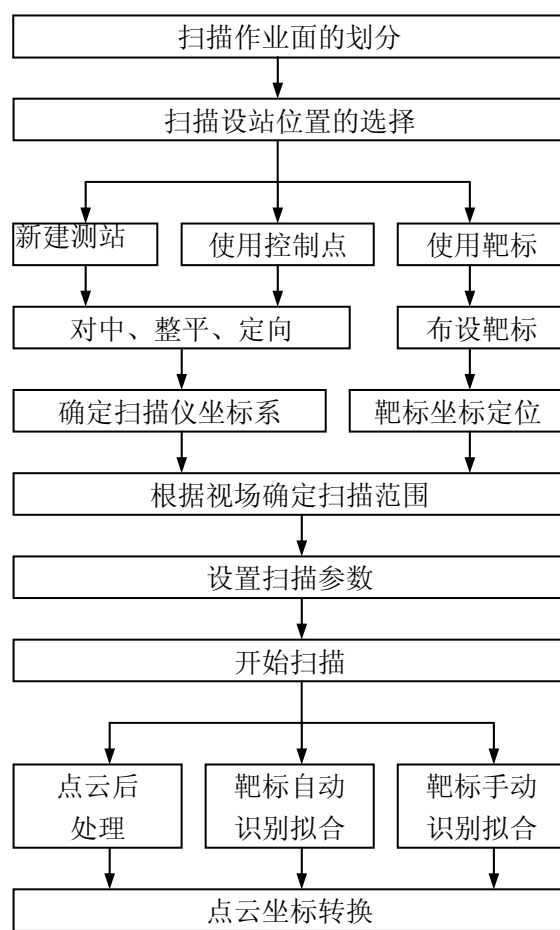


图 2.19 地面三维激光扫描作业流程

图 4.4.8 地面三维激光扫描的流程

3 点云数据处理方法

激光雷达扫描测量得到的是点云数据。点云是在同一空间参考系下表达目标空间分布和目标表面光谱特性的海量点集合。激光雷达技术结合了激光测量和摄影测量的技术特点，得到的点云信息包括三维坐标（XYZ）、激光反射强度（Intensity）和颜色信息（RGB）。对点云数据作进一步处理，还可以得到点云的法向量。点云具备以下特点：

可量测性：可以直接在点云上获取三维坐标、距离、方位角、表面方向量，还可以进一步计算得到点云所表达目标的表面积、体积等；

光谱性：具有 8bit 甚至更高的激光强度量化等级和 24 位真彩色信息；

不规则：点云按照水平和垂直方向等角度间隔步进采样，扫描角越大，点间隔也越大，再加上各种偶然误差的影响，点云的空间分布并不规则；

高密度：由于激光雷达扫描仪的角分辨率可以达到秒级，对应得到的点云的点位间隔非常小，对于地面激光雷达可达到毫米级，对于机载激光雷达可以小于 1m。

激光雷达扫描得到的点云数据往往具有数据量庞大的特点，而且在数据采集过程中不可避免的会有噪声的存在，为了提高后期点云建模处理效率以及精度，往往需要对点云进行预处理操作，如点云数据的配准、点云滤波、点云数据分割、点云特征提取、点云数据压缩等。

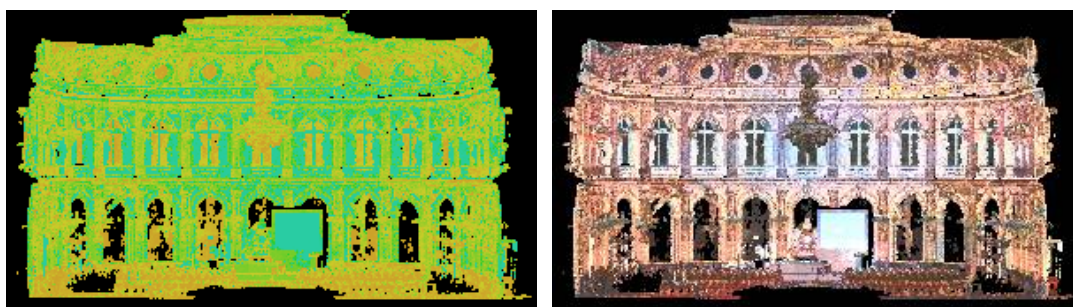


图 4.4.9 同一目标的强度假彩色点云和真彩色点云

1. 点云数据的配准

地面激光雷达的信息采集一方面存在前景遮挡后景的情况，另一方面要获取某对象的三维模型，往往需要环绕该对象设置多站，获取其不同视角下的点云数据。地面激光雷达直接输出的数据信息是基于该摄站坐标体系的局部坐标数据，为获得研究对象的整体三维模型，不同视角获取的点云数据必须借助于重叠信息融为一体，即将不同摄站的点云数据归并到某一个摄站坐标系中去，这个过程称为点云数据配准或点云拼接。点云的配准是地面激光雷达所特有的，对于机载激光雷达类，所有的扫描数据都是基于 POS 系统的 WGS84 坐标系下，无需进行点云的配准。

点云配准是将两个或两个以上坐标系中的三维点云数据转换到统一坐标系统中的数学计算过程。若 $\mathbf{p}_c = (x_c, y_c, z_c)$ 表示一个自由坐标系下的点云坐标， $\mathbf{p}_a = (x_a, y_a, z_a)$ 表示点在绝对坐标系中的坐标，则点云配准问题的输入就是一个共轭对组： $\{(\mathbf{p}_{c,1}, \mathbf{p}_{a,1}), (\mathbf{p}_{c,2}, \mathbf{p}_{a,2}), \dots, (\mathbf{p}_{c,n}, \mathbf{p}_{a,n})\}$ ，则配准模型为

$$\begin{aligned} x_a &= r_{xx}x_c + r_{xy}y_c + r_{xz}z_c + t_x \\ y_a &= r_{yx}x_c + r_{yy}y_c + r_{yz}z_c + t_y \\ z_a &= r_{zx}x_c + r_{zy}y_c + r_{zz}z_c + t_z \end{aligned} \quad (4.4.1)$$

其中 12 个未知参数中有 9 个是旋转矩阵参数 r ，3 个是平移参数 t 。每个共轭对 $(\mathbf{p}_c, \mathbf{p}_a)$ 对应三个等式，则至少需要四个共轭观测值产生 12 个方程才能解出 12 个未知数。解求 12 个未知参数的方法主要方法有六参数法、四元数法和 ICP 法。点云的配准一般都是基于事先布设的标靶来实现，在无法布设标靶的情况下，也可以直接利用点云本身进行配准（ICP 方法）。

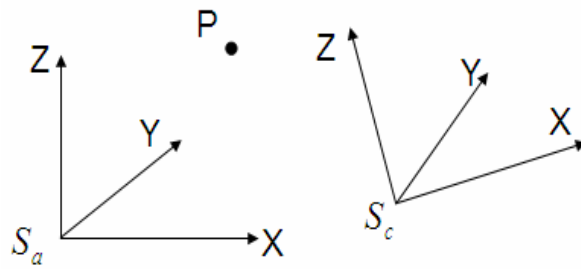


图4.4.10 配准中的坐标转换

2. 点云数据的滤波

激光信号在获取目标表面几何和光谱信息的过程中，由于受到大气和目标表面因素的影响，会不可避免地产生噪声，对点云数据的分割、识别和建模都会产生不利影响，因此需要在进一步处理前先进行点云数据滤波。

点云的滤波方法分为线性滤波和非线性滤波方法。线性滤波方法主要有邻域平均法、k-近邻点拟和曲面滤波，线性预测法滤波和三角网迭代滤波等。非线性

滤波方法主要有中值滤波、Lee 自适应滤波、数学形态滤波、各向异性扩散滤波等方法。相比于线性方法，非线性滤波方法能在消除噪声的同时，保持边缘等细节特征。

(1) 邻域平均法。该方法在考察点的邻域内计算所有点到局部拟合面的距离均值，以取代考察点。

(2) k-近邻点拟和曲面滤波。在 3D 空间中的 k 近邻作为考察点的邻域，计算最近 k 点的拟合曲面，再考虑点到拟合面的距离，可判断该点是否为噪声。无论是单个噪声，还是若干噪声，拟合曲面与噪声点的距离都很显著，需要针对不同的目标类型选取合适的 k 值。

(3) 迭代线性最小二乘内插模型残差法滤波。核心思想就是噪声点到物体表面得距离较大，线性最小二乘内插后激光脚点拟合残差（相对于拟合后的物体参考面）不服从正态分布，噪声点拟合残差都值较大。该方法需要迭代进行，首先用所有点的观测值按等权计算出趋势面，该表面实际上是介于真实之间和带有噪声的数据之间的一个面。其结果是拟合后真实表面点的残差是负值的概率大；然后用这些计算出来的残差 v 来给每一个点的观测值定权 p 。算法最终迭代收敛后，可将噪声点成功检出。

(4) 三角网迭代滤波。先取一个足够大的窗口，对整个区域做一次卷积，每次取该窗口中的最小的点，构成一个初始的 DSM。然后再缩小窗口继续做卷积，并定义最大窗口梯度、最大内插角度、最大内插距离，仍然取窗口中的最低点，如果这个新点到最近的三角网顶点的角度和它离三角面的距离都满足事先设定的距离和角度阈值，并且三角面片的梯度满足最大窗口梯度则判定为噪声点，对三角网更新。重复该过程直到没有发现噪声为止。

(5) 中值滤波是一种简便但非常有效的滤波方式，它的基本思想是在考察点的邻域内产生一个局部拟合曲面，将这个曲面上的所有点按到该曲面的距离值从小到大的顺序进行排序，并计算排序后序列的中值，用以代替考察点到曲面的距离值。

(6) Lee 自适应滤波。该方法假设噪声是相乘性噪声，并采用自适应迭代法，有利于保持边缘信息。

(7) 数学形态滤波。形态滤波器是基于信号(图象)的几何结构特性，利用预先定义的结构元素(相当于滤波窗)对信号进行匹配或局部修正，以达到提取信号，抑制噪声的目的。

(8) 各向异性扩散滤波。它是从物理中的扩散现象演绎而来，即求解初始值为输入数据的非线性热扩散方程。在扩散方程中，设计合适的扩散系数来控制扩散方程的扩散行为。为了防止扩散效应对边缘的影响，利用梯度引入了一个边

缘截止函数来改变扩散率。

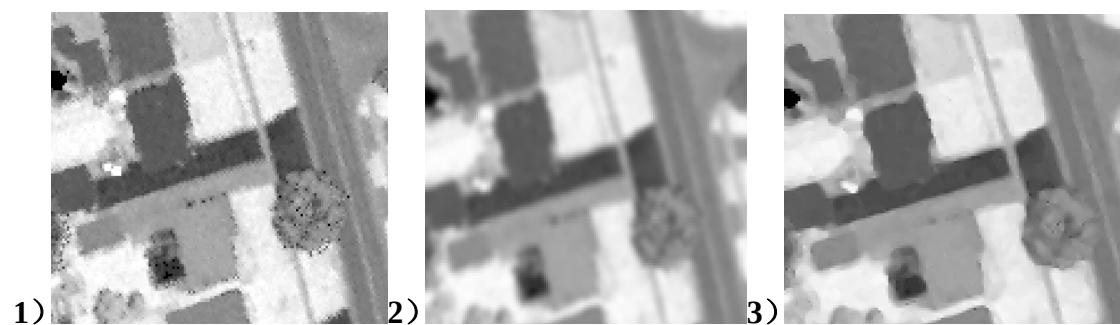


图 4.4.11 点云滤波：1) 是原始数据，2) 是线性滤波结果，3) 是非线性滤波滤波结果

3. 点云数据的分割

点云分割的目的是从点云数据中获取更高层次的信息，是进一步有针对性的三维重建的基础。点云分割的主要方法有：模式识别方法、边缘检测方法、基于邻接图的方法和区域生长法。

(1) 模式识别方法：该方法是对点云中的每个点提取 n 个几何或者光谱特征，形成 n 维特征向量空间，那么点云中连续和非连续的区域在特征空间中被视为不同的部分。可用的特征有坐标、法向量、平均曲率、高斯曲率、激光强度和颜色等。在特征空间中进行分类的方法主要有聚类方法和神经网络方法。

(2) 边缘检测方法：该方法的研究对象是点云数据对应深度图像、强度图像或者光谱图像，利用梯度算子检测图像中的不连续性区域，进行图像分割，分割结果所对应的区域即为不同类点云。

(3) 基于邻接图的方法：其基本思想是对不同的分割区域 A 和 B ，相比较 B 中的点而言，在 A 中的点更接近于 A 中的其他点。算法首先给点初始化一个属性表，属性表中不满足邻接准则的边界被逐个确定并剔除，最后的邻接图就表达了分割结果。邻接图的构造方法有：最小生成树 (MST)，Delaunay 三角网、相对邻接图 (RNG) 和 Gabriel 图。

(4) 区域生长法：该方法首先在点云中选择种子面片或者种子点，然后以种子为中心，向周围以法向量、坡度或者曲率差异等临近准则扩张，形成连接集合，不同的集合即代表了不同的分割区域。

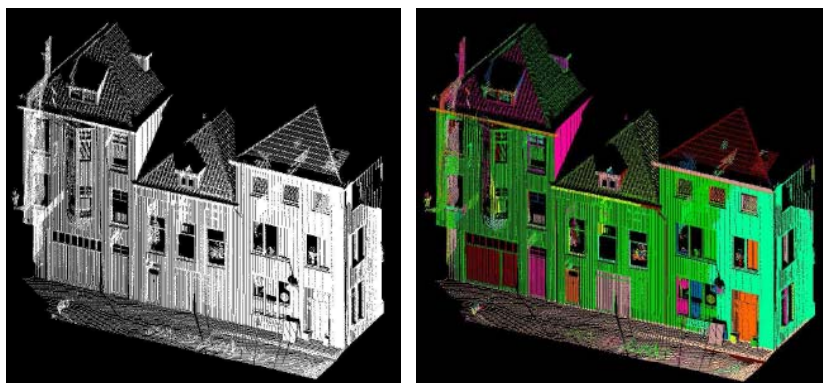


图 4.4.12 点云分割

4. 点云压缩

点云的数据量往往非常大，过多的数据点会导致计算机运行、存储和操作的低效率，生成曲面模型需要消耗更多的时间，并且过于密集的点云会影响重构曲面的光顺性。因此，在保持被测物体几何特征的前提下，根据物体的曲率特征对测量数据进行精简，可以提高点云建模的效率和精度。

对于基于扫描线的点云数据，相对来说，其简化与压缩技术比较简单，主要有最小距离法、角度偏差法、弦值法和角度弦高法等。对于散乱点云数据，目前比较常用的有：包围盒法，随机采样以及曲率采样等方法。

(1) 包围盒法：顾名思义，是采用体包围盒来约束点云，然后将大包围盒分解成若干个均匀大小的小包围盒，在每个包围盒中选取最靠近包围盒中心的点来代替整个包围盒中的点。该方法获得的“点云”数据等于包围盒的个数，对于均匀的“点云”能够取得一定效果。包围盒法的优点是简单而且高效，易于实现，从总体上精简了点云数量，实现了点云的均匀精简，但是由于包围盒的大小是由用户任意规定的，因此无法保证所构建的模型与原始“点云”数据之间的精度，在“点云”数据密集处容易丢失细节。

(2) 随机采样法：针对海量数据点的测量方法是一次测量得到一个区域的点数据，和数据点存储是随机存储的特点，对顺序读入数据文件的点进行随机的去除，这种方法不用建立散乱点的邻域结构，所以实现是很快的。但它的缺点也是显而易见的，即随机性太大，无法控制精度，同时也无法重现。当去除的数据点较多时，就会导致大量的细节遗失，使得后续建模中生成的曲面或网格与原始数据偏差较大

(3) 曲率采样法：根据点云中点的内在属性，即曲率，作为标准来采样点云。由于在曲率较大的区域往往包含较多的特征，而在曲率较小的区域(如平面)上，因为可以用极少的点来表示很大的面积，所以数据冗余很多，一般可以去除。因此曲率采样的原则是：小曲率区域保留少量的点，而大曲率区域则保留足够多

的点，以精确完整地表示曲面特征。

5. 点云建模

点云数据的建模分为点云的几何建模和纹理建模。几何建模是根据密集点云恢复成扫描目标的几何形状，主要有参数曲面建模方法和不规则三角网建模。纹理建模是建立的几何模型赋予真实纹理，主要通过影像的畸变纠正、影像与点云的配准、和纹理映射实现。

(1) 参数曲面建模：工程实际中原型往往不是由一张简单曲面构成，而是由大量初等解析曲面(如平面、球面、圆柱面、圆锥面等)及部分自由曲面组成，故三维实体重构的首要任务是将测量数据按实物原型的几何特征进行分割成不同的数据块，使得位于同一数据块内的数据点可以一张特定的曲面来表示，然后针对不同数据块采用不同的曲面建构方案(如初等解析曲面、B-spline 曲面、Bezier 曲面、NURBS 曲面等)进行曲面重建，最后将这些曲面块拼接成实体。

在三维空间中，平面、圆柱面、圆锥面、球面、圆环面等初等曲面均可表达为一般式：

$$F(x, y, z) = c_1x^2 + c_2y^2 + c_3z^2 + c_4xy + c_5yz + c_6zx + c_7x + c_8y + c_9z + c_{10} = 0 \quad (4.4.2)$$

然后通过线性或者非线性最小二乘法直接拟合得到曲面参数。

(2) 不规则三角网建模：点云的不规则三角网的构造方法分为 2D 空间三角化和 3D 空间三角化。2D 空间三角化的重建方法是 Delaunay 三角化。3D 空间的三角化也叫做四面体化。四面体实质是 2D 三角形网数据结构在三维空间上的扩展。Delaunay 四面体的准则是：任何一个 Delaunay 四面体的外接球的内部不能包含其它任何点。

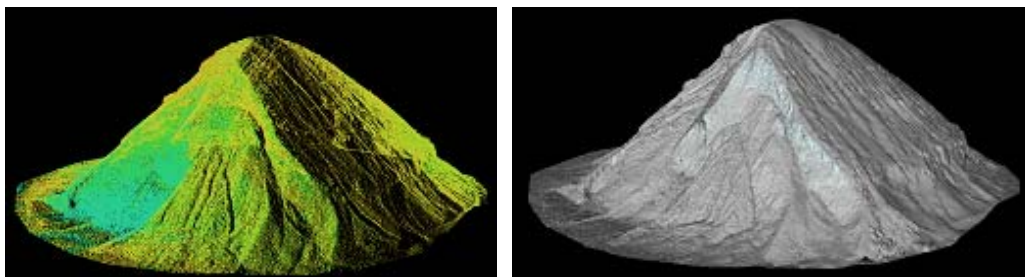
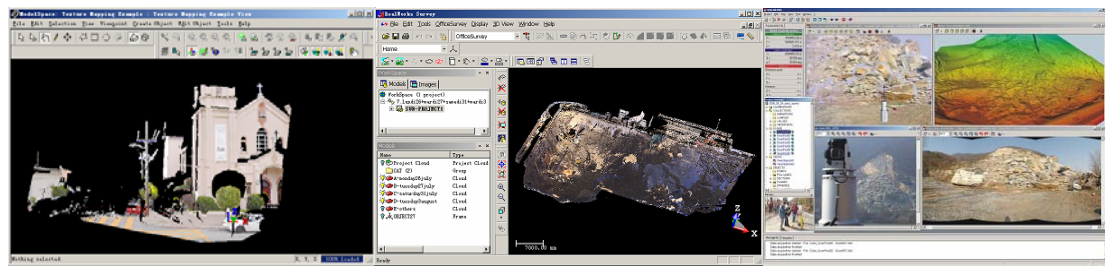


图 4.4.13 不规则三角网建模

6. 主流点云数据处理软件介绍

点云数据处理软件分为专用软件和通用软件。专用软件是专门为扫描仪设计而配合适用，主要有 Leica 的 Cyclone, Trimble 的 Realworks Survey, Rigel Riscan Pro 等。通用软件为第三方软件，支持各种点云数据，主要有 Innovmetric 的 Polyworks，以及在通用图形图像处理平台上开发的插件，如 Point Cloud 和

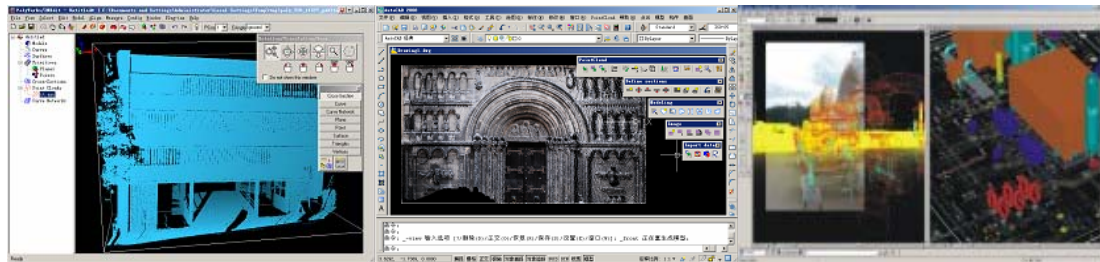
Phidias。



Cyclone

Realworks

SurveyRiscan Pro



Polyworks

Point Cloud (CAD 插件)

Phidias

图 4.4.14 各主要点云数据处理软件

3.6 根据项目要求，选择合适的卫星传感器影像和影像波段、分辨率、覆盖范围

考点分析：

- 1) 空间分辨率、光谱分辨率、辐射分辨率、时间分辨率、覆盖范围
- 2) 资源卫星、测绘卫星主要技术参数，重点 SPOT、LANDSAT、资源一号

目前获取遥感影像常用的传感器有：航空摄影机（航摄仪）、全景摄影机、多光谱摄影机、多光谱扫描仪(Multi Spectral Scanner, MSS)、专题制图仪（Thematic Mapper,TM）、反束光导摄像管（RBV）、HRV（High Resolution Visible range instruments）扫描仪、合成孔径侧视雷达（Side-Looking Airborne Radar,

SLAR) 等。常用的遥感数据有：美国陆地卫星 (Landsat) TM 和 MSS 遥感数据，法国 SPOT 卫星遥感数据，加拿大 Radarsat 雷达遥感数据。

陆地卫星(landsat):前三颗卫星的轨道是近图形太阳同步轨道，高度约为 915 公里，运行周期 103 分，每天绕地球 14 圈，每 18 天覆盖全球一次，星载的遥感器有：(1) 3 台独立的返束光导摄像机 (RBV)，分三个波段同步成像，地面分辨率为 80 米，(2)多波段扫描仪 MSS(Multispectral Scanner System)在绿、兰、红、和近红外的四个波段工作，地面分辨率也为 80 米。

Landsat-4 和 Landsat-5 进入高约 705km 的近图形太阳同步轨道，每一圈运行的时间约为 99 分钟，每 16 天覆盖全球一次，第 17 天返回到同一地点的上空，星上除了带有与前三颗基本相同的多波段扫描仪 MSS 外，还带有一台专题成像仪 TM(Thematic Mapper)，它可在包括可见光、近红外和热红外在内的 7 个波段工作，MSS 的 IFOV 为 80 米, TM 的 IFOV 除 6 波段为 120 米以外，其它都为 30 米。

MSS、TM 的数据是以景为单元构成的，每景约相当地面上 185×170km² 的面积，各景的位置根据卫星轨道所确定的轨道号和由中心纬度所确定的行号进行确定，Landsat 的数据通常用计算机兼容磁带(CCT)提供给用户。Landsat 的数据现在被世界上十几个的地面站所接收，主要应用于陆地的资源探测，环境监测，它是世界上现在利用最为广泛的地球观测数据。

表 6-1 所示的是 LANDSAT5 成像装置的分辨率和视场等参数

表 6-1				
遥感器名称	视场(km ²)	图像类型	波段 (μm)	地面分辨率 (m)
TM	185×170	多光谱影像	0.45 - 0.52	30
			0.52 - 0.60	30
			0.63 - 0.69	30
			0.76 - 0.90	30
			1.55 - 1.75	30
			10.40 - 12.5	120
			2.08 - 2.35	30
MSS	185×170	多光谱影像	0.5-0.6 μ m	80
			0.6-0.7 μ m	80
			0.7-0.8 μ m	80
			0.9-1.1 μ m	80

法国“斯波特”卫星 (SPOT)： SPOT 携带两台相同的高分辨率遥感器 HRV(High Resolution Visible imagine System)。它的观测方法是采用 CCD(Charge Coupled Device)的电子式扫描，它具有多光谱和全色波段两种模式。由于 HRV 装有可变指向反射镜，能在偏离星下点 $\pm 27^\circ$ (最大可达 30°)范围内观测任何区域，通过斜视观测平均二天半就可以对同一地区进行高频率的观测,缩短了重复观测的时间。此外，通过用不同的观测角观测同一地区，可以得到立体视觉效果，能进行高精度的高程测量与立体制图。

SPOT 5 相比于 SPOT 1~4 卫星，星上主载作了重大改进：包括两个高分辨率几何装置(HRG)和一个高分辨率立体成像装置(HRS)。表 6-2 所示的是 SPOT5 成像装置的分辨率和视场等参数。

表 6-2					
遥感器	视场(km ²)	图像类型		波段 (μm)	地面分辨率(m)
HRG	60×60	全色影像	超模式全色影像 (Super mode PAN)	0.48-0.71	2.5
			全色影像 (PAN)	0.48-0.71	5
		多光谱影像	B1	0.50-0.59	10
			B2	0.61-0.68	10
			B3	0.78-0.89	10
			B4	1.58-1.75	10
HRS	120×120	全色影像		0.49-0.69	10

美国 Ikonos 卫星： 卫星运行在高度为 680 公里、倾角 98.2 度的极轨道上(图 2-3)。伊克诺斯卫星设计成 140 天内绕地球飞行 2049 圈，即约每天绕地球飞行 15 圈，第一圈的星下点与 2049 圈的星下点完全相同。每 3 天就可以 0.8 米的分辨率对地面上的任何一个区域进行一次拍摄。若降低分辨率，它每天都可以重访一次同一区域。伊克诺斯卫星入轨后拍摄的图像，因为其优良的清晰度，已得到了广泛的赞誉。它可拍摄到地面上直径不足 1 米的物体的全色（黑白）图像和直径仅 3.28 米的物体的多光谱图像。

美国快鸟(Quickbird)卫星： 空间分辨率首次突破米级单位，达到 61 cm。这意味着卫星遥感进入了一个新的阶段，遥感应应用范围将大为扩展，应用深度和精度也将随之大大提高。快鸟卫星是目前世界上空间分辨率最高的商用卫星，有突出的优越性：全色分辨率为 61 cm，多光谱分辨率为 2.44 m，是同类卫星 Ikonos 的 1.63 倍；多光谱有蓝（450-520nm）、绿（520-600nm）、红（630-690nm）、近红外（760-900nm）四个波段，与 Ikonos 相同；图像幅宽 16.5 km，是 Ikonos 的

1.5 倍;在没有地面控制点的情况下,地面定位圆误差精度可达 23 m;采用 11 bit/s 数据格式, 增加了灰度级数,减少了阴影部分信息的损失。

ERS 卫星:携带有多种有效载荷,包括侧视合成孔径雷达(SAR)和风向散射计等装置),由于 ERS-1(2)采用了先进的微波遥感技术来获取全天候与全天时的图象,比起传统的光学遥感图象有着独特的优点。

卫星参数为:椭圆形太阳同步轨道,轨道高度:780 公里,半长轴:7153.135 公里,轨道倾角:98.52°,飞行周期:100.465 分钟,每天运行轨道数:14-1/3,降交点的当地太阳时:10:30,空间分辨率:方位方向<30 米,距离方向<26.3 米,幅宽:100 公里。

加拿大雷达卫星(Radarsat):该系统有 5 种波束工作模式,即:(1)标准波束模式,入射角 20°~49°,成像宽度 100 公里,距离及方位分辨率为 25 米×28 米;(2)宽辐射波束,入射角 20°~40°,成像宽度及空间分辨率分别为 150 公里和 28 米×35 米;(3)高分辨率波束,三种参数依此为 37°~48°,45 公里及 10 米×10 米;(4)扫描雷达波束,该模式具有对全球快速成像能力,成像宽度大(300 公里或 500 公里),分辨率较低(50 米×50 米或 100 米×100 米),入射角为 20°~49°;(5)试验波束,该模式最大特点为入射角大,且变化幅度小 49°~59°,成像宽度及分辨率分别为 75 公里及 28 米×30 米。

与其他星载 SAR 系统比较,Radarsat SAR 有以下三个特点:(1)具有 45 公里,75 公里,100 公里,150 公里,300 公里和 500 公里的不同辐射宽度成像能力;(2)分别为 11.6MHz,17.3MHz,30.0 MHz 雷达带宽的选择性操作使距离分辨率可调;(3)较强的数据处理能力。

WorldView 卫星 WorldView 卫星同样是 DigitGlobe 公司经营管理的,是 QuickBird 之后的下一代高分辨率遥感卫星。第一颗卫星 WorldView-I 已于 2007 年成功发射,第二颗 WorldView-II 也在发射计划中。WorldView-I 是目前地球上分辨率最高、响应最敏捷的商业成像卫星。WorldView-I 的全色影像分辨率达到星下点 0.41m,在倾斜 20°成像时 0.55m,由于美国政府的禁令,对于非美国政府用户,即使获得 0.41m 的影像,也必须强制重采样到 0.5m 出售。WorldView-I 不提供多光谱影像,但在计划中的 WorldView-II 卫星将能够提供 8 个波段的分辨率约为 1.8m 的多光谱影像。

WorldView-I 进一步提高了机动覆盖能力,在 1m 分辨率情况下,平均重访周期为 1.7 天,在 0.51m 分辨率下,平均重访周期为 5.9 天,WorldView-I 继承了 Quickbird 大幅宽的优点,垂直摄影时,幅宽为 18.7km。WorldView-I 卫星具有更大的星上存储系统,大容量全色成像系统每天能够拍摄多达 50 万平方公里的 0.5 米分辨率图像。

WorldView-I 卫星具备更高的地理定位精度，在无控制点时，平面定位精度约为 5.8-7.6m (CE90)，在存在地面控制点的情况下，平面定位精度可达到 2m (CE90)。该卫星还具有极佳的响应能力，能够快速瞄准要拍摄的目标和有效地进行同轨立体成像。

WorldView-I 卫星的成功发射进一步推动高分辨率遥感影像的应用，我国的第二次土地调查将部分采用 WorldView-I 卫星影像。著名的遥感影像处理软件 REDAS 也已经增加了处理 WorldView-I 卫星影像的模块。

Obview 卫星 Obview 卫星由 OrbImage 公司负责经营的高分辨率遥感卫星，目前在轨运行的是 Orbview-3 卫星。OrbView-3 提供空间分辨率 1 米的全色影像和四个波段的空间分辨率为 4 米的多光谱影像，影像幅宽为 8km。OrbView-3 具有最大 45°的侧视角，可以形成立体影像，卫星重访周期小于 3 天。

OrbView-3 卫星 1 米分辨率的影像能够清晰的看到地面上的房屋，汽车和停机坪上的飞机，并能生成高精度的电子地图和三维飞行场景。4 米多光谱影像提供了彩色和近红外波段的信息，可以从高空中更深入的刻画城市、乡村和未开发土地的特征。OrbView-3 卫星影像被广泛应用于测绘制图、军事侦察、农作物长势监测与预测、森林监测和管理、海岸带测绘与环境监测、自然灾害灾情评估等。

GeoEye 系列卫星 IKONOS 和 OrbView-3 的下一代卫星。2005 年，SpaceImaging 公司 (IKONOS 的所有者) 因为竞标失败，没有得到美国政府的订单，被 OrbImage 公司 (OrbView 的所有者) 收购。合并之后的公司称为世界上最大的商业高分辨率遥感卫星运营公司，其计划中的卫星 OrbView-5 继承了 IKONOS 和 OrbView-3 两颗卫星的设计优点，并在最新计划里名称被改为 **GeoEye 1**。OrbImage 公司原计划计划于 2007 年发射该卫星，但直到 2008 年 9 月份才成功发射，并由于软件故障直到 12 月份才开始提供商业影像产品。**GeoEye 1** 卫星的全色影像具有 0.41m 的空间分辨率，四个波段的多光谱影像具有 1.64m 的空间分辨率，影像的幅宽也达到 15.2km。**GeoEye 1** 卫星每天能获取 120 万平方公里的影像，重访周期小于 1.5 天。**GeoEye 1** 卫星的影像采集速度也有明显提高，较之 IKONOS，GeoEye 1 的全色影像采集速度提高了 40%，多光谱影像采集速度提高了 25%。在没有地面控制点的情况下，GeoEye 1 单张影像影像能够提供由于 3m (CE90) 的平面定位精度，立体影像能够提供 4m (CE90) 的平面定位精度和 6m (LE90) 的高程定位精度。

GeoEye 公司已经与 Google 公司签订合同，向 GoogleEarth 提供 0.5m (美国

政府政策限定商业卫星影像分辨率不能超过 0.5m) 的卫星影像, 使 GoogleEarth 上的影像清晰度和分辨能力有明显的提高。GeoEye 公司于 2007 年已经开始评审 GeoEye 2 卫星的设计, 并计划于 2011 或 2012 年发射这颗卫星。GeoEye 2 卫星采用与 GeoEye 1 相同的技术设计, 但各方面技术指标均有明显提高。GeoEye 2 卫星将是第三代高分辨率遥感卫星, 其全色影像的分辨率可达 0.25 米, 这将是高分辨率卫星发展史上的另一次飞跃。

IRS 卫星 印度是较早开展空间遥感技术开发并取得成功的发展中国家, IRS 卫星是印度的资源卫星系列, 其中具有高空间分辨和立体测图能力的是 IRS-P5 卫星和 IRS-P7 卫星。

IRS-P5 又名 Cartosat-1, 空间分辨率为 2.5m, 可以获取高性能测量的立体图像, 制作地形的数字地图和比例为 1:10000 的测绘地图, 其地形高程的确定精度 5m。卫星数据具备真正 2.5 米分辨率, 应用尺度能够达到 1: 10000; 在制图方面, 像对生成 DEM 以及制图精度可达 1: 25000。采用 10bit 量化等级, 通过传感器侧视, 重访周期为 5 天。

Cartosat-1 搭载两个 2.5 米空间分辨率的可见光全色波段摄像机, 沿轨道方向一个前视角 26°、一个后视角 5°, 两个相机获取同一景影像的时间差仅为 52 秒, 因此获取的立体像对的辐射效应基本一致, 有利于立体观察和影像匹配。形成像对的有效幅宽为 26 公里, 基线高度比为 0.62。Cartosat-1 另一个显著的特点是两个相机具有两套独立的成像系统, 可以同时轨工作, 这样就能构成一个连续条带的立体像对, 在地面情况良好时, 该条带长度可达数千公里。

2006 年 9 月, 在印度果阿由国际摄影测量与遥感学会 ISPRS 和印度空间研究组织 ISRO 举办研究会, 在“Cartosat-1 科学评价项目 C-SAP”中, 应用 Cartosat-1 立体像对在欧洲和美洲二十多个测区进行测试, 测试地区涵盖城区、山地、农用地和林地。从数十位测试专家的评价结果看, 就立体数据的质量而言, Cartosat-1 的正射影像和 DEM 在几何精度和内容信息方面有很大的潜力, 可以将其应用于以下方面:

- 更新 1:25000 和 1:50000 比例尺地图
- 制作新的 1:25000 的地形图
- 制作 1:10000 比例尺的专题地图
- 地图等高线间距可以达到 10 米

Cartosat-2 卫星 (P7) 于 2008 年四月份成功发射, 目前已成功接收到卫星影像。Cartosat-2 卫星没有延续 Cartosat-1 的双线阵 CCD 相机设计, 而是采用的单线阵 CCD 相机, 其全色影像分辨率为 1m, 影像幅宽 9.6km。Cartosat-2 卫星具

有前后左右最大侧摆 45°的能力，可以获取同轨或异轨立体影像，用于测图和三维地形建模。Cartosat-2 卫星重访周期为 4 天，必要时候，通过轨道机动可以提高到 1 天。

ALSO 卫星 ALOS 卫星是日本的一颗高分辨率的陆地卫星，用于绘制日本和亚太地区国家的地表图，也用于监视、防灾和环境保护。ALOS 卫星上装载的 PRISM 是世界上第一台真正的星载三线阵测绘相机。PRISM 前、正、后视相机固定的几何关系，前视和后视相机的倾角为 $\pm 23.8^\circ$ ，这样一来，基高比就设定在 1.0，非常适合立体成像。比较其他同类卫星所采用的通过单台相机前后摆动获得同轨立体而言，其几何关系更为固定，图形强度更好。ALOS 的三线阵相机的设计其具有很强的同轨立体成像能力，可以获取连续的立体像对，立体像对的幅宽也较宽，大约为 30km。ALOS 卫星不具备侧摆功能（左右方向侧视倾角最大为 1.2° ），因此它的重访周期是同类卫星当中最长的，为 46 天。

为了匹配 PRISM 的高精度，ALOS 上还装有 3 台用于姿态测量的星跟踪器和 1 部精确定轨的双频 GPS 接收机，使得不用地面控制点就可以制作出精度非常高的数字高程模型。ALOS 卫星最初的设计出发点就是主要由于无控制点下，1:25000 地形图的绘制，日本科学家通过实际验证，认为 ALOS 影像达到了这一目标。ISPRS 的工作组报告中则提出，在有良好的地面控制点的情况下，ALOS 立体影像的平面定位精度可达到平面 1.2-2.3m (RMS)，高程 1.0-2.5m (RMS) 的精度。

Resurs DK 卫星 Resurs-DK1 卫星是俄罗斯的第一颗高分辨率传输型民用对地观测遥感卫星，于 2006 年发射成功。Resurs-DK1 高分辨率全色影像和多光谱影像，其全色图像分辨率为 0.9-1.7 米，彩色图像分辨率为 1.5-2 米。该卫星一天内可以拍摄约 70 万平方千米的面积。Resurs-DK1 卫星影像还可以同时提供分辨率接近的全色影像与多光谱影像数据，融合影像效果好，影像信息丰富。

Resurs-DK1 遥感影像非常适用于地图制图，经正射处理后的制图精度满足 1:5000 制图要求。卫星除提供 1 米全色数据外，还提供空间分辨率达 2 米的多光谱数据，影像不仅具有丰富的光谱信息，同时纹理细节丰富，二者融合可以获得更为信息丰富的影像，在植被类型、土地利用、矿产资源调查等方面具有很可观的应用前景。Resurs-DK1 不具备侧摆功能，不能获得立体影像，无法进行立体测图。Resurs-DK1 卫星能够为高纬地区提供高质量影像，这对于我国西部高纬地区的测图具有重要意义。

KOMPASAT 卫星 KOMPSAT 是韩国的多用途卫星系列，KOMPSAT-1 具有 7m 的地面分辨率，影像幅宽大约为 17km。KOMPSAT-2 卫星空间分辨率有较大提高，能够提供全色分辨率为 1m，多光谱分辨率为 4m，幅宽为 15km。KOMPSAT-2 卫星具有前后摆动（最大 30°）和左右侧摆（最大 56°）能力，可以获得同轨及异轨立体影像，具有立体测图能力。

EROS 卫星 EROS 是以色列的商业高分辨率遥感卫星系列，目前已成功发射的是 EROS-A 和 EROS-B 两颗卫星。EROS-A 于 2000 年发射，其全色影像的空间分辨率为 1.8m，通过过采样技术可以提高到 0.9m，扫描幅宽是 14km。EROS-B 于 2006 年发射，其全色影像的空间分辨率为 0.7m，扫描幅宽只有 7km。EROS-A 和 EROS-B 的量化等级都是 11bit，影像包含信息丰富。EROS 卫星具有较高的重访周期，单颗卫星的重访周期是 2-4 天，两颗卫星组成的星座的则具有 1 天的重访周期。

两颗 EROS 卫星都具有侧视形成立体像对的能力，然而 EROS 卫星成像时采用的是非同步扫描方式（Asynchronous push broom），成像时，视线角是变化的，这使得 EROS 影像的扭曲较大，在进行立体测图的时候需要更多的地面控制点，而且即使这样，精度也明显低于 SPOT5 等其他卫星。

EROS-C 卫星是以色列 EROS 系列高分辨率卫星的第三颗星。计划中，EROS-C 卫星的全色影像的空间分辨率同 EROS-B 卫星一样，依然是 0.7m，但新增加了四个波段的多光谱影像，空间分辨率为 2.8m，影像的幅宽为 11km。

3.7 根据项目要求，确定卫星影像的处理方法，确定影像融合及几何校正策略，确定控制点和检查点的精度指标，确定卫星影像的重采样、影像镶嵌和整体匀色方法，确定分幅裁切规则

考点分析：

- 1) 卫星遥感图像增强
- 2) 几何校正
- 3) 影像融合
- 4) 影像分类
- 5) 影像镶嵌

地物的光谱特性一般以图像的形式记录下来。地面反射或发射的电磁波信息经过地球大气到达遥感传感器，传感器根据地物对电磁波的反射强度以不同的亮度表示在遥感图像上。遥感传感器记录地物电磁波的形式有两种，一种以胶片或其它的光学成像载体的形式，另一种以数字形式记录下来，也就是所谓的光学图像和数字图像的方式记录地物的遥感信息。与光学图像处理相比，数字图像的处理简捷、快速，并且可以完成一些光学处理方法所无法完成的各种特殊处理，随着数字图像处理设备的成本越来越低，数字图像处理变得越来越普遍。本小节主要讨论遥感数字图像处理的基础知识。

数字图像是一个二维的离散的光密度（或亮度）函数。相对光学图像，它在空间坐标（ x ， y ）和密度上都已离散化，空间坐标 x ， y 仅取离散值：

$$\begin{aligned} x &= x_0 + m\Delta x \\ y &= y_0 + m\Delta y \end{aligned} \quad (4-3-4)$$

式中： $m = 0, 1, 2, \dots, m-1$ ； Δx ， Δy 为离散化的坐标间隔。同时 $f(x, y)$ 也仅取离散值，

一般取值区间为 $0, 1, 2, \dots, 127$ 或 $0, 1, 2, \dots, 255$ 等。

数字图像可用一个二维矩阵表示，即：

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \cdots & f(0,n-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \cdots & f(1,n-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(m-1,0) & f(m-1,1) & \cdots & f(m-1,n-1) \end{bmatrix} \quad (4-3-5)$$

矩阵中每个元素称为像元。

1. 图像增强

遥感图像增强是为特定目的，突出遥感图像中的某些信息，削弱或除去某些不需要的信息，使图像更易判读。图像增强的实质是增强感兴趣目标和周围背景图像间的反差。它不能增加原始图像的信息，有时反而会损失一些信息。

根据处理空间的不同，目前常用的图像增强处理技术可以分为两大类：空间域和频率域的处理。空间域处理是指直接对图像进行各种运算以得到需要的增强结果。频率域处理是指先将空间域图像变换成频率域图像，然后在频率域中对图像的频谱进行处理，以达到增强图像的目的。而根据增强处理的数学形式的不同，图像增强技术又可以分为点处理和邻域处理。点处理是以单个像元为单位进行的灰度增强处理；邻域处理是对一个像元周围的小区域子图像进行灰度增强处理，又称为模板处理。

1) 灰度拉伸

由于照明不足、成像传感器动态范围太小等原因，使得遥感影像的灰度值往往局限在一个比较狭小的灰度范围内，使得图像看起来不鲜明清晰，许多地物目标和细节难于辨认。通过灰度拉伸处理，扩大图像灰度值动态变化范围，可加大图像像元之间的灰度对比度，有助于提高图像的可解译性，它是一种点处理方法。

灰度拉伸方法主要有线性变换、分段线性变换及非线性变换、直方图调整等。

(1) 线性变换：其数学表达式为：

$$d'_{ij} = Ad_{ij} + B \quad (4-3-9)$$

式中： d'_{ij} ——经过线性拉伸后输出像元的灰度值；

d_{ij} ——原始图像像元灰度值；

A 和 B 为变换系数。

线性变换是一种最简单的灰度拉伸算法。其基本思想就是按比例拉伸原始图像灰度等级范围，使输出直方图的两端达到饱和，从而达到改善图像视觉效果的目的，如图 4-3-6。

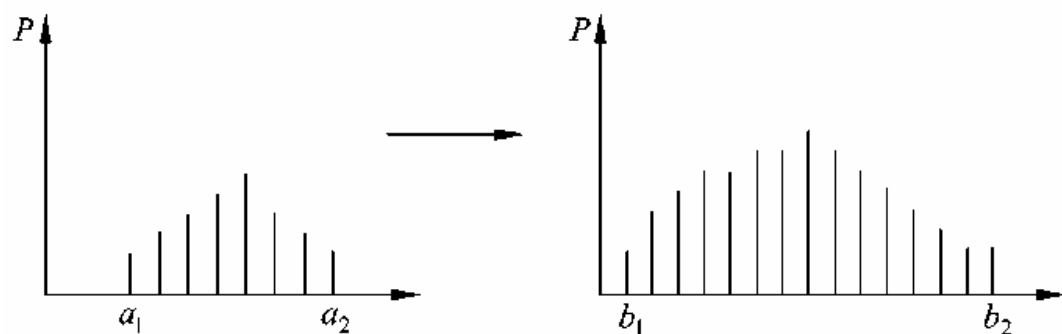


图 4-3-4 线性变换

2) 分段线性变换

由于遥感图像的复杂性，线性变换往往难以满足要求，因此在实际应用中更多地采用分段线性变换，以增大感兴趣目标与其他目标之间的反差，如图 4-3-7 所示。 L_1 为原图像的灰度值变量， L_2 为变换后的影像的灰度变量，其中 a_1, a_2, a_3 分别为所选择的分段断点，断点之间的斜率控制该区段内灰度值的变换。选择适当的断点和斜率就可以降低或扩大特定区域内地物目标的灰度反差。

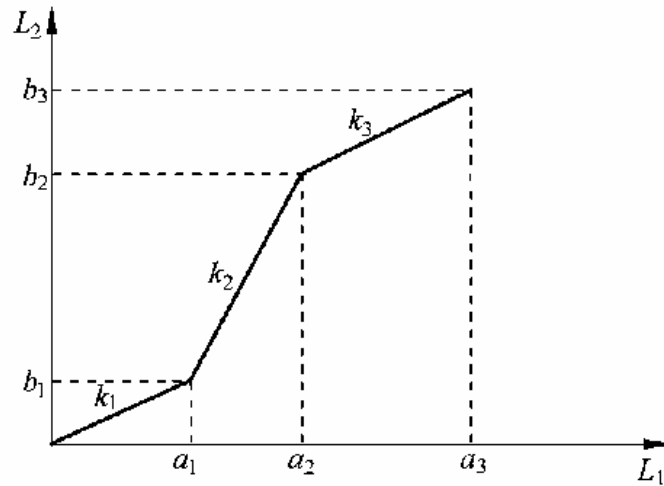


图 4-3-5 分段线性变换

3) 非线性变换.非线性变换对于要进行变换的亮度值范围是有选择的, 变换的程度是随亮度值的变化而连续变化的。非线性变换主要有对数变换和指数变换:

对数变换公式为:

$$g(x, y) = b \cdot \lg[af(x, y) + 1] + c \quad (4-3-10)$$

式中: $g(x, y)$ 与 $f(x, y)$ 分别代表变换后和变换前的像元灰度值; a , b , c 为可调参数, 控制变换曲线的变化率、起点、截距等, 以增加变换的灵活性和动态范围的可选择性。

对数变换常用于扩展低亮区(暗区)、压缩高亮区的对比度, 使暗区影像层次增多, 清晰度改善, 以突出隐伏于暗区影像中的某些地物目标。

指数变换公式为:

$$g(x, y) = b \cdot e^{a \cdot f(x, y)} + c \quad (4-3-11)$$

式中: 各参数的意义与对数变换相同。指数变换增强效果正好与对数变换相反, 能突出亮区的差异而抑制暗区, 两者互为逆运算处理

如果地物目标既分布在暗区又出现在亮区, 或者地物目标本身有亮有暗时, 宜配合使用对数与指数变换, 以便较全面地突出分布范围较广的地物目标。

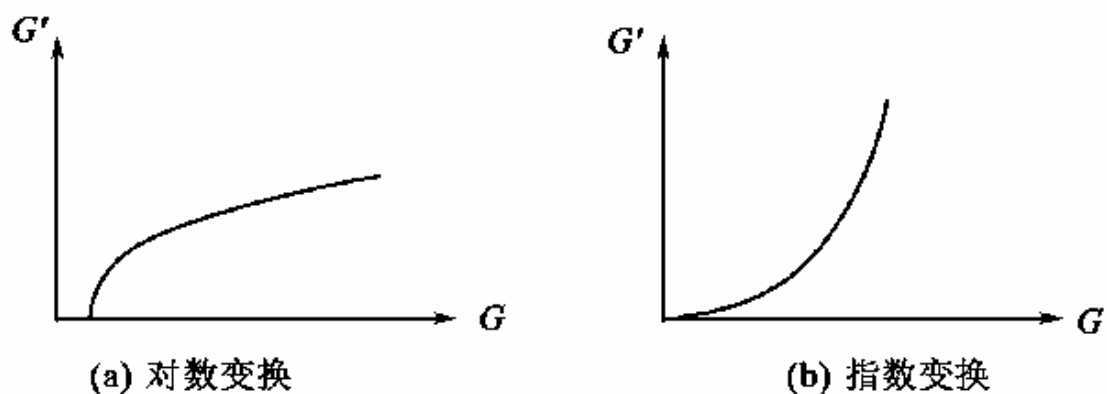


图 4-3-6 非线性变化

4) 直方图调整

图像灰度直方图反映了一幅图像中灰度级与其出现频率之间的关系，它给出了该幅图像概貌的总的描述，如一幅图像的明暗状况及对比度等。因此，遥感图像增强也可以通过调整直方图的方法来实现。常用的直方图调整方法有直方图均衡化和直方图规定化。

直方图均衡化是将一已知灰度概率密度分布的图像，经过某种变换，变成一幅具有均匀灰度概率密度分布的新图像，如图 4-3-9 所示。直方图匹配又称直方图规定化，是指将原始图像的直方图变换为某种指定形态（如正态分布）的直方图或某一参考图像的直方图。直方图匹配对在不同时间获取的同一地区或邻接地区的图像，或者由于太阳高度角或大气影响引起差异的图像，特别是对图像镶嵌或变化检测很有用。

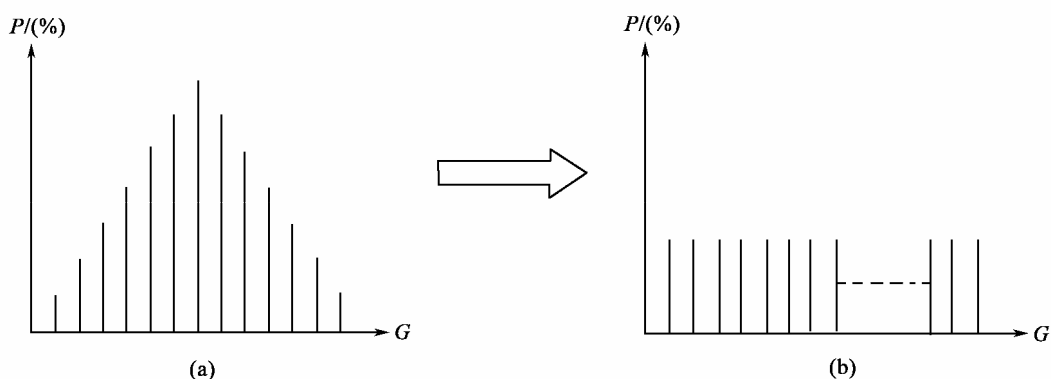


图 4-3-12 直方图均衡

2. 空间域滤波

灰度拉伸主要是通过单个像元的运算在整体上改善图像的质量，而空间域图像增强则是有目的的突出图像上的某些特征，如突出边缘或线性地物；也可以有目的的去掉某些特征，如抑制图像在获取或传输过程中所产生的各种噪声。

空间域图像增强在方法上强调了像元与其周围相邻像元之间的关系，采用空间域中邻域处理的方法，在被处理像元周围的像元参与下进行运算处理，这种方法也叫做“空间滤波”。在进行运算时，多采用空间卷积技术（又称掩模技术）来实现图像平滑和锐化的目的。

卷积运算是在空间域上对图像进行邻域检测的运算。二维卷积运算在图像中使用模板来实现。模板运算方法如图 4-3-12 所示，选定运算模板 $\phi(m,n)$ ，其大小为 $M \times N$ 。从图像左上角开始开一个与模板同样大小的活动窗口 $f(m,n)$ ，按下式计算 $g(i,j)$ 作为图像窗口中心像元的新的灰度值：

$$g(i,j) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N f(m,n)\phi(m,n) \quad (4-3-13)$$

然后沿同一行讲模板向右移动一列，图像上的窗口也对应移动，按式 (4-3-19) 计算并把结果作为新窗口中心像元的新的灰度值，如图 4-3-12 (b) 所示。依次类推，逐列逐行讲全副图像扫描一遍，产生新的图像。

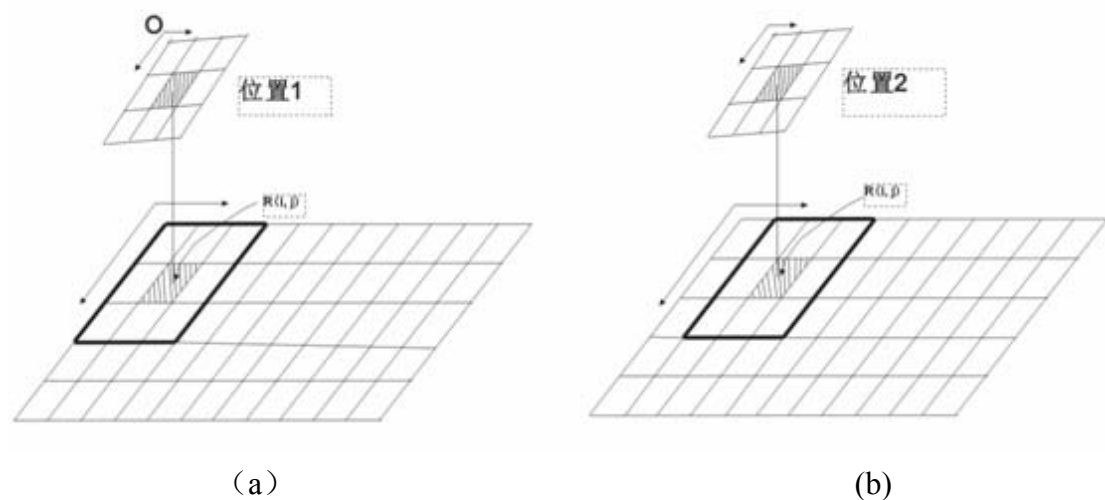


图 4-3-7 图像卷积运算

3. 频率域滤波

在图像中，像元的灰度值随位置变化的剧烈程度可以用频率来表示，是灰度在平面空间上的梯度。对于边缘、线条、噪声等特征，如河流、湖泊的边界、道路、差异较大的地表覆盖交界处等具有高的空间频率，即在较短的像元距离内灰度值变化大；而均匀分布的地物或大面积的稳定结构，如植被类型一致的平原、大面积的沙漠、海面等具有低的空间频率，即在较长的像元距离内灰度值逐渐变化。因此，在频率域增强技术中，平滑主要是保留图像的低频部分而抑制高频部

分，锐化则保留图像的高频部分而削弱低频部分。频率域滤波主要用到的滤波器有理想高（低）频滤波器、梯形高（低）频滤波器、Butterworth 高（低）频滤波器、指数高（低）频滤波器以及 Bartlett 高（低）频滤波器等。

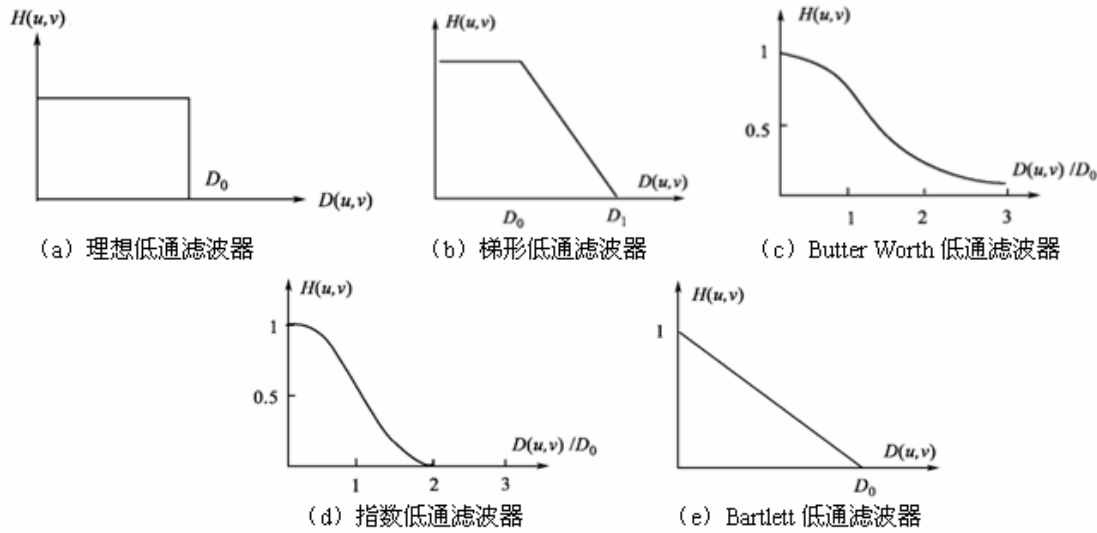


图 4-3-8 低通滤波器

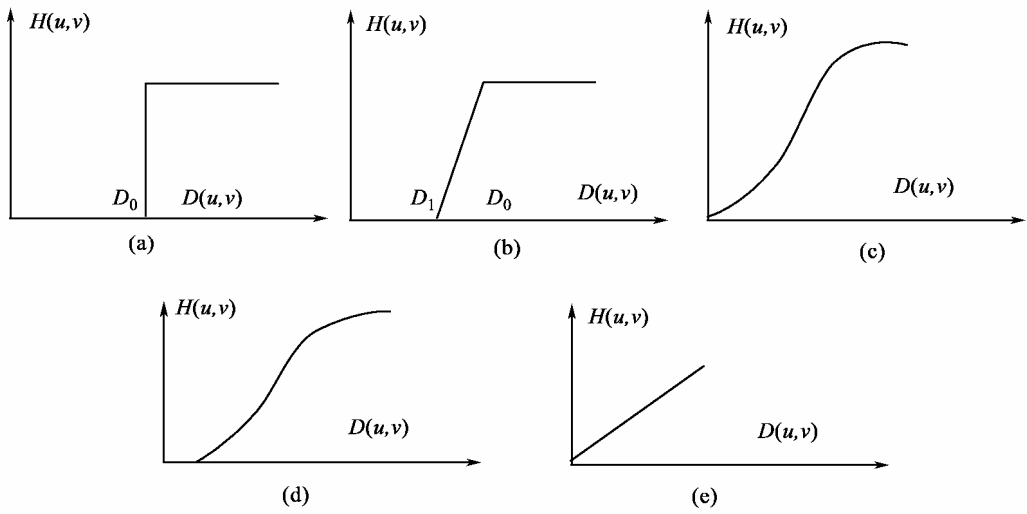


图 4-3-9 高通滤波器

频率域另一种重要的增强方法是同态滤波。同态滤波是指在频率域中同时对图像亮度范围进行压缩和对图像对比度进行增强的方法，常常用于揭示阴影区的细节特征。一幅图像 $f(x,y)$ 可以用照度和反射率来描述，即：

$$f(x,y) = i(x,y) \cdot r(x,y) \tag{4-3-14}$$

式中： $f(x,y)$ 为在 (x,y) 处图像的亮度值； $i(x,y)$ 为在 (x,y) 处图像的照度； $r(x,y)$ 为在 (x,y) 处图像的反射率。

同态滤波处理的具体步骤如下：

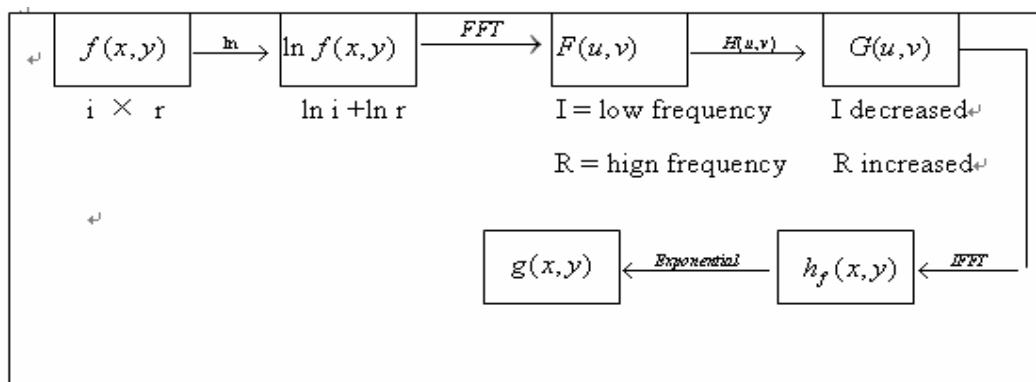


图 4-3-10 同态滤波流程图

4. 多光谱图像四则运算

针对多源遥感图像的特点，可以利用多源图像之间的四则运算来达到增加某些信息或消除某些影响的目的。

1、减法运算

$$B = B_X - B_Y \quad (4-3-15)$$

其中 B_X 、 B_Y 为两个不同波段的图像或者不同时相同一波段图像。当为两个不同波段的图像时，通过减法运算可以增加不同地物间光谱反射率以及在两个波段上变化趋势相反时的反差。而当为两个不同时相同一波段图像相减时，可以提取波段间的变化信息。

当用红外波段与红波段图像相减时，即为植被指数，即

$$I_{VI} = B_{IR} - B_R \quad (4-3-16)$$

2、加法运算

$$B = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m B_i \quad (4-3-17)$$

通过加法运算可以加宽波段，如绿色波段和红色时段图像相加可以得到近似全色图像；而绿色波段，红色波段和红外波段图像相加可以得到全色红外图像。

3、乘法运算

$$B = \left[\prod_{i=1}^m B_i \right]^{1/m} \quad (4-3-18)$$

通过乘法运算结果与加法运算结果类似。

4、除法运算

$$B = \frac{B_x}{B_y} \quad (4-3-19)$$

通过比值运算能压抑因地形坡度和方向引起的辐射量变化，消除地形起伏的影响；也可以增强某些地物之间的反差，如植物、土壤、水在红色波段与红外波段图像上反射率是不同的，通过比值运算可以加以区分（见表 4-3-1）。因此，比值运算是自动分类的预处理方法之一。

表 4-3-1 植被、水、土壤在红/红外波段灰度及比值结果

类别	红波段	红外波段	红波段/红外波段
植被	暗	很亮	更亮
水	稍亮	很暗	更暗
土壤	较亮	较亮	不变

5、混合运算

归一化差分植被指数（NDVI）

$$I_{NDVI} = \frac{B_7 - B_5}{B_7 + B_5} \quad (4-3-20)$$

上式也称为生物量指标变化，可使植被从水和土中分离出来。

变换 NDVI（TNDVI）：

$$I_{TNDVI} = \sqrt{\frac{B_7 - B_5}{B_7 + B_5} + 0.5} \quad (4-3-21)$$

而差分比值运算：

$$I_{NDVI} = \frac{B_6 - B_5}{B_6 + B_5} \quad (4-3-22)$$

可以消除部分大气影响。

混合运算可根据具体情况进行处理。

4.3.3 辐射校正

由于遥感图像成像过程的复杂性，传感器接收到的电磁波能量与目标本身辐射的能量是不一致的，这是因为传感器输出的能量中包含了由于太阳位置和角度条件、大气条件、地形影响和传感器本身的性能等所引起的各种失真。为了正确评价目标的反射及辐射特性，必须对这些失真加以校正或消除。消除或改正遥感

图像成像过程中附加在传感器输出的辐射能量中的各种噪声的过程即为辐射校正。

由辐射传输方程可知，传感器的输出 E_λ 为

$$E_\lambda = K_\lambda \left\{ \left[\rho_\lambda \cdot E_0(\lambda) e^{-T(Z_1, Z_2) \sec \theta} + \varepsilon_\lambda \cdot W_e(\lambda) \right] e^{-T(0, H)} + b_\lambda \right\} \quad (4-3-23)$$

式中： K_λ 为传感器的光谱响应系数； ρ_λ 为地物的波谱反射系数； E_0 为太阳辐射照度； $T(Z_1, Z_2)$ 为 Z_1 到 Z_2 区段大气层的光学厚度； θ 为太阳天顶角； ε_λ 为地物的波谱发射率系数； $W_e(\lambda)$ 为与地物同温度黑体的发射通量密度； H 为平台高度； b_λ 为大气辐射所形成的天空辐射照度。

从上式可以看出，传感器的输出能量 E_λ 除了与地物本身的反射和发射波谱特性有关外，还与传感器的光谱响应特性、大气条件、光照情况等因素有关。因此遥感图像的辐射误差主要包括三个方面：

- 1) 传感器本身的性能引起的辐射误差；
- 2) 地形影响和光照条件的变化引起的辐射误差；
- 3) 大气的散射和吸收引起的辐射误差。

1、由传感器响应特性引起的辐射误差校正

(1) 由光学系统的特性引起的辐射误差校正

光学摄影机内部辐射误差主要是由镜头中心和边缘的透射光的强度不一致造成的。在使用透镜的光学系统中，例如在摄像面中，存在着边缘部分比中心部分发暗的现象（边缘减光），它使得在图像上不同位置的同一类地物有不同的灰度值。设原始图像灰度值为 $g(x, y)$ ，校正后的图像灰度值为 $f(x, y)$ ，则有：

$$f(x, y) = \frac{g(x, y)}{\cos \theta} \quad (4-3-24)$$

式中 θ ——像点成像时光线与主光轴夹角。

(2) 由光电转换系统的特性引起的畸变校正

在扫描方式的传感器中，传感器接收系统收集到的电磁波信号需经光电转换系统变成电信号记录下来，这个过程也会引起辐射量的误差。光电扫描仪的内部辐射畸变主要有两类：一类是光电转换误差；另一类是探测器增益变化引起的误差。卫星接收站地面处理系统通常采用楔校准模型和增益校准模型，对卫星图像进行处理，以消除传感器的光电转变辐射误差和增益变化的误差。由于光电变换系统的灵敏度特性通常有很高的重复性，所以可以定期地在地面测量其特性，根据测量值可对其进行辐射畸变校正。

2、由太阳位置和地形起伏引起的辐射误差校正

(1)太阳位置引起的辐射误差校正

太阳位置主要是指太阳高度角和方位角，如果太阳高度角（太阳入射光线与地平面的夹角）和太阳方位角（太阳光线在地面上的投影与当地子午线的夹角）不同，则地面物体入射照度就发生变化。太阳高度角引起的辐射误差校正就是将太阳光线倾斜照射时获取的图像校正为太阳光线垂直照射时获取的图像。太阳高度角 θ 可根据成像时间、季节和地理位置来确定，一般是通过调整一副图像内的平均灰度来实现的。

太阳方位角的变化也会改变光照条件，它也随成像时间、季节、地理纬度的变化而变化。太阳方位角引起的图像辐射值误差通常只对图像细部特征产生影响，它可以采用与太阳高度角校正相类似的方法进行处理。

由于太阳位置的影响，在图像上会产生阴影。一般情况下，图像上地形和地物的阴影是难以消除的，但是多光谱图像上的阴影可以通过图像之间的比值予以消除或减弱。比值图像是用同步获取的相同地区的任意两个波段图像相除而得到的新图像。阴影的消除对影像的定量分析和自动识别是非常重要的，因为它消除了非地物辐射而引起的影像灰度值的误差，有利于提高定量分析和自动识别的精度。

(2)地形起伏引起的辐射畸变校正

太阳光线与地表作用后再反射到传感器的太阳光辐射亮度与地面倾斜度有关。当地形倾斜时，经过地表扩散、反射再入射到传感器的太阳光辐射亮度就会依倾斜度而变化。地形坡度引起的辐射校正方法需要有影像对应地区的 DEM 数据，校正较为麻烦，一般情况下对地形坡度引起的误差不做校正。另外，对消除了光路辐射成分的图像数据，此项校正也可采用波段间的比值方法来进行校正。

三、大气辐射校正

进入大气的太阳辐射会发生反射、折射、吸收、散射和透射，其中对传感器接收影响较大的是吸收和散射。由于大气对辐射的吸收和散射作用，使得原信号的强度减弱了，该辐射经地面反射到传感器时又要经历一次衰减。

同时，大气的散射光也有一部分直接或经过地物反射进入到传感器，这两部分辐射又增强了信号，但却不是有用的。其中大气散射光经地物反射以及反射路径上的大气吸收后，被传感器接收的辐射能较小，基本上可以忽略不计。然而还有相当部分的大气散射光未经地面反射和大气吸收，而直接被传感器接收，这种辐射被称之为程辐射，它被传感器接收的辐射能较大。

大气散射的影响降低了图像的对比度，精确的大气校正需要找出每个波段像元亮度值与地物反射率的关系。为此需得到卫星飞行时的大气参数，以求出大气

透过率等因子。如果不通过特别的观测，一般很难得到这些数据，所以，通常采用一些简化的处理方法，即去掉上述影响因素中的程辐射。目前常用的方法是基于地面场地数据或辅助数据进行辐射校正和利用波段特性进行大气校正。

(1) 基于地面场地数据或辅助数据进行辐射校正：

在遥感成像的同时，同步获取成像目标的反射率，或通过预先设置已知反射率的目标，把地面实况数据与传感器的输出数据进行比较，来消除大气的影响。这里假设地面目标发射率与传感器所获得的信号之间属于线性关系。

将地面测定的结果与卫星图像对应像元的亮度值进行回归分析，其回归方程为：

$$L = a + bR \quad (4-3-25)$$

式中： L —— 卫星观测值；

a —— 常数；

b —— 回归系数。

设 $bR = L_a$ 为地面实测值，该值未受大气影响，则 $L = a + L_a$ ， a 即为大气影响。所以可以得到大气影响 $a = L - L_a$ ，则大气校正公式为：

$$L_G = L - a \quad (4-3-26)$$

图像中的每一像元亮度值均减去 a ，以获得成像地区大气校正后的图像。由于遥感过程是动态的，在地面特定地区、特定条件和一定时间段内测定的地面目标反射率不具有普遍性，因此该方法仅适用于包含地面实况数据的图像。

(2) 利用波段特性进行大气校正

严格地说，程辐射度的大小与像元位置有关，随大气条件、太阳照射方向和时间变化而变化，但因其变化量微小而忽略。可以认为，程辐射度在同一幅图像的有限面积内是个常数，其值的大小只与波段有关。一般来说，程辐射度主要来自米氏散射，即散射主要发生在短波波长，其散射强度随波长的增大而减小，而红外波段基本上接近于零。把近红外波段最为无散射影响的标准图像，通过对不同波段图像的对比分析来计算大气影响。根据这种原理，一般有两种大气辐射的校正方法：直方图法和回归分析法。

2. 几何校正

遥感图像在获取过程中，由于各种因素的影响，图像本身的几何形状与其对应的地物形状往往是不一致的。遥感图像的几何变形是指图像上像元在图像坐标系中的坐标与其在地图坐标系等参考坐标系统中的对应坐标之间的差异。遥感图像的几何校正就是为了解决遥感图像的几何变形问题。

造成遥感图像几何变形的因素很多，总体可分为静态误差和动态误差两大类。静态误差是在成像过程中，传感器相对于地球表面呈静止状态时所具有的各种变形误差。动态误差主要是在成像过程中由于地球的旋转等因素所造成的图像变形误差。变形误差又可分为内部误差和外部误差两类。内部误差主要是由于传感器自身的性能技术指标偏移标称数值所造成的。内部误差随传感器的结构不同而异，其数据和规律可以在地面通过检校的方式测定。外部变形误差是在传感器本身处在正常工作的条件下，由传感器以外的各种因素所造成的误差，如传感器的外方位元素变化，传感器介质不均匀，地球曲率，地形起伏以及地球旋转等因素引起的变形误差。

遥感图像的几何处理包括两个层次。第一是遥感图像的粗加工处理；第二是遥感图像的精加工处理。

1. 遥感图像的粗加工处理

遥感图像的粗加工处理也称为粗纠正，它仅做系统误差改正。当已知图像的构像方式时，就可以把与传感器有关的测定的校正数据，如传感器的外方位元素等代入构像公式对原始图像进行几何校正，如多光谱扫描仪，其成像的公式为：

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_p = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_s + \lambda A_t R_\theta \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -f \end{bmatrix} \quad (4-3-27)$$

对其图像的纠正就需要得到成像时投影中心的大地坐标 $[X \ Y \ Z]$ ，扫描仪姿态角以确定旋转矩阵 A_t ，扫描角 θ 以及焦距 f 。其中，投影中心坐标一般可以根据卫星星历或者全球定位系统所获取的卫星坐标来解算，扫描仪姿态角的测定则主要通过卫星平台上装载的姿态测量仪器来实现，而扫描角则可以通过传感器的扫描周期、扫描视场等已知参数来解求。

粗加工处理一般由遥感数据地面接收站来进行，它对传感器内部畸变的改正很有效，但处理后图像仍有较大的残差（偶然误差和系统误差）。因此必须对遥感图像做进一步的处理，即精加工处理。

2. 遥感图像的精加工处理

遥感图像的精纠正是指消除图像中的几何变形，产生一幅符合某种地图投影或图形表达要求的新图像。它包括两个环节：一是像素坐标的变换，即将图像坐标转变为地图或地面坐标；二是对坐标变换后的像素亮度值进行重采样。数字图像纠正主要处理过程如下：

- (1) 根据图像的成像方式确定影像坐标和地面坐标之间的数学模型。
- (2) 根据所采用的数字模型确定纠正公式。

(3) 根据地面控制点和对应像点坐标进行平差计算变换参数，评定精度。

(4) 对原始影像进行几何变换计算，像素亮度值重采样。

目前，遥感图像的几何校正方法主要有多项式法，共线方程法等。

(1) 遥感图像的多项式纠正

多项式纠正是遥感图像几何处理中广泛使用的一种方法，它的原理直观，并且计算较为简单，特别是对于地面相对平坦的地区，具有足够好的纠正精度。多项式纠正回避了成像的空间几何过程，而直接对图像变形的本身进行数字模拟。由于遥感图像的几何变形由多种因素引起，其变化规律十分复杂，难以用一个严格的数字表达式来描述，为此常常选择一个适当的多项式来描述纠正前后图像相应点之间的坐标关系，并利用地面控制点的图像坐标和其同名点的地面坐标通过平差原理计算多项式中的系数，然后用该多项式对图像进行几何校正。

一般多项式纠正变换公式为：

$$\left. \begin{aligned} x &= a_0 + (a_1 X + a_2 Y) + (a_3 X^2 + a_4 XY + a_5 Y^2) \\ &\quad + (a_6 X^3 + a_7 X^2 Y + a_8 XY^2 + a_9 Y^3) \\ y &= b_0 + (b_1 X + b_2 Y) + (b_3 X^2 + b_4 XY + b_5 Y^2) \\ &\quad + (b_6 X^3 + b_7 X^2 Y + b_8 XY^2 + b_9 Y^3) \end{aligned} \right\} \quad (4-3-28)$$

其中： x, y 为某像素原始图像坐标；

X, Y 为同名像素的地面（或地图）坐标。

遥感影像的多项式纠正过程大致包括如下几步：

- 1) 求解多项式系数，利用已知地面控制点列误差方程按最小二乘原理求解多项式系数，并对它进行精度评价
- 2) 遥感图像的纠正变换，纠正后数字图像的边界范围的确定和按照选定的纠正变换函数把原始数字图像逐个像素变换到图像贮存空间中去，主要有直接法和间接法两种纠正方案。
- 3) 数字图像亮度（或灰度）值的重采样，包括最邻近像元采样法、双线性内插法、双三次卷积的内插。

(2) 遥感图像的共线方程纠正

共线方程纠正是建立在图像坐标与地面坐标严格数学变换关系的基础上的，是对成像空间几何形态的直接描述。该方法纠正过程需要有地面高程信息（DEM），可以改正因地形起伏而引起的投影差。因此当地形起伏较大，且多项式纠正的精度不能满足要求时，要用共线方程进行纠正。

共线方程纠正时需要有数字高程信息，计算量比多项式纠正要大。同时，在动态扫描成像时，由于传感器的外方位元素是随时间变化的，因此外方位元素在扫描过程中的变化只能近似表达，此时共线方程本身的严密性就存在问题。所以

动态扫描图像的共线方程纠正与多项式纠正相比精度不会有大的提高。

3. 影像融合

遥感技术的发展为人们提供了丰富的多源遥感数据。这些来自不同传感器的数据具有不同的时间、空间和光谱分辨率以及不同的极化方式。单一传感器获取的图像信息量有限，往往难以满足应用需要，通过图像融合可以从不同的遥感图像中获得更多的有用信息，补充单一传感器的不足。图像融合是指将多源遥感图像按照一定的算法，在规定的地理坐标系，生成新的图像的过程。全色图像一般具有较高空间分辨率（如 SPOT 全色图像分辨率为 10m），多光谱图像光谱信息较丰富（SPOT 有三个波段），为提高 SPOT 多光谱图像的空间分辨率，可以将全色图像融合进多光谱图像。通过融合既提高多光谱图像空间分辨率（10m），又保留其多光谱特性。

图像融合首先要求多源图像精确配准，分辨率不一致时，要求重采样后保持一致；其次，将图像按某种变换方式分解成不同级的子图像，同时，这种分解变换必须可逆，即由多幅子图像合成一幅图像，即为融合图像。这时多幅子图像中包含了来自其它需要融合的经图像变换的子图像。

图像融合可以分为若干层次。一般认为可分像素级，特征级和决策级。像素级融合对原始图像及预处理各阶段上所产生的信息分别进行融合处理，以增加图像中有用信息成分，改善图像处理效果。特征级融合能以高的置信度来提取有用的图像特征。决策级融合允许来自多源数据在最高抽象层次上被有效的利用。目前主要的影像算法都是基于像素级的。

1) 加权融合

基于像元的加权融合对两幅图像 I_i , I_j 按下式进行：

$$I'_{ij} = A(P_i I_i + P_j I_j) + B \quad (4-3-29)$$

其中：A, B 为常数； P_i , P_j 为两个图像的权，其值由下式决定：

$$P_i = \frac{1}{2}(1 - |r_{ij}|), \quad P_j = 1 - P_i \quad (4-3-30)$$

r_{ij} 为两幅图像的相关系数。

2) 基于 I H S 变换的图像融合

IHS 变换将图像处理常用的 RGB 彩色空间变换到 IHS 空间。IHS 空间用亮度(Intensity)、色调(Hue)、饱和度(Saturation)表示。IHS 变换可以把图像的亮度、色调和饱和度分开，图像融合只在强度通道上进行，图像的色调和饱和度保持不变。

基于 IHS 变换的融合过程如下：

(1) 待融合的全色图像和多光谱图像进行几何配准，并将多光谱图像重采样与全色分辨率相同；

(2) 将多光谱图像变换转换到 IHS 空间。

(3) 对全色图像 I 和 IHS 空间中的亮度分量 I 进行直方图匹配。

(4) 用全色图像 I' 代替 IHS 空间的亮度分量，即 $IHS \rightarrow I'HS$ 。

(5) 将 $I'HS$ 逆变换到 RGB 空间，即得到融合图像。

通过变换、替代、逆变换获得的融合图像既具有全色图像高分辨的优点，又保持了多光谱图像的色调和饱和度。

3) 基于主分量变换的图像融合 (K-L 变换法)

首先对多光谱图像的多个波段进行主分量变换，变换后第一主分量含有变换前各波段的相同信息，而各波段中唯一对应各波段的部分，被分配到变换后的其它波段。然后将高分辨率图像和主成分第一分量进行直方图匹配，使高分辨率图像与主成分第一分量图像有相近的均值和方差。最后，用直方图匹配后的高分辨率图像代替主成份的第一分量进行主分量逆变换。

设多光谱图像 M ，有 n 个波段，全色图像 P ，将它们组成一个向量集 X 含有 $n+1$ 个波段，

$$X = [X_1 \ X_2 \ X_3 \ \dots \ X_n \ X_{n+1}] \quad (4-3-31)$$

每个波段之间的方差为：

$$\delta_{i,j}^2 = E((x_i - m_i)(x_j - m_j)) \quad (i, j = 1, 2, 3 \dots n, n+1) \quad (4-3-32)$$

其中 m_i, m_j 为第 i, j 波段的均值，可以得到向量 X 的协方差矩阵：

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \delta_{1,1} & \delta_{1,2} & \delta_{1,3} \\ \delta_{2,1} & \delta_{2,2} & \delta_{2,3} \\ \delta_{3,1} & \delta_{3,2} & \delta_{3,3} \end{bmatrix}$$

Σ 是一个满秩矩阵，其特征根 λ 为实数。求出特征根后对特征根 $\lambda = (\lambda_1 \ \lambda_2 \ \dots \ \lambda_{n+1})$ 进

行排序，且 $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_{n+1}$ ，然后求出对应的特征向量 Y_i ，构成特征向量集 Y ：

$$Y = (Y_1 \ Y_2 \ \dots \ Y_n \ Y_{n+1})$$

用原来的 $n+1$ 个波段和特征向量集 Y 进行变换，得到新的 $n+1$ 个图像。一般情况下，前三个特征值之和占总的特征值的 97% 以上，因而原来的图像 97% 以上的信息集中到了变换后的前三个图像中，其余基本上为噪声图像。

4) 比值变换融合

比值变换融合算法按下式进行：

$$[B_1 / (B_1 + B_2 + B_3)]D = DB_1$$

$$[B_2 / (B_1 + B_2 + B_3)]D = DB_2 \quad (4-3-33)$$

$$[B_3 / (B_1 + B_2 + B_3)]D = DB_3$$

其中： B_i ($i=1,2,3$) 为多光谱图像；

D 为高分辨率图像；

DB_i ($i=1,2,3$) 为比值度变换融合图像。

比值变换融合可以增加图像两端的对比度。当要保持原始图像的辐射度时，本方法不宜采用。

5) 乘积变换融合

乘积变换融合算法按下式进行：

$$D \times B_i = DB_i \quad (4-3-34)$$

通过乘积变换融合得到的融合图像其亮度成分得到增加。

在上述融合方法中，基于 *IHS* 变换融合和比值变换融合只能用三个波段的多光谱图像和全色图像融合，而其它方法不受波段数限制。

4. 影像判读

“判读” (Interpretation) 是对遥感图像上的各种特征进行综合分析、比较、推理和判断，最后提取出用户所感兴趣的信息。传统的方法是采用目视判读，这是一种人工提取信息的方法，使用眼睛目视观察，借助一些光学仪器或在计算机显示屏幕上，凭借丰富的判读经验，扎实的专业知识和手头的相关资料，通过人脑的分析、推理和判断，提取有用的信息。如果利用计算机技术进行自动识别分类，通过一定的数字方法（如统计学、模糊数学等），即所谓“模式识别”的方法来提取有用信息，也称自动判读。自动判读目前仍处于初步阶段，实际应用中，目视判读和人机交互半自动判读仍在大量使用，这里主要介绍目视判读的基本方法和步骤。

1. 遥感影像主要判读特征

判读所用到的景物特征主要有光谱特征、空间特征和时间特征。不同地物这些特征不同，在图像上的表现形式也不同。各种地物的各种特征都以各自的形式（或称样子、模式）表现在图像上。这种各种特有的表现形式称为判读标志。

(1) 光谱特征及其判读标志

由于光谱特性的不同，不同地物具有与之相应的不同的波谱响应曲线，如图 4-3-29 所示。地物在多波段图像上特有的波谱响应就是地物的光谱特征的判读标

志。图中可以看出，不同地物波谱响应曲线是不同的，因此它们的光谱判读标志就不一样。

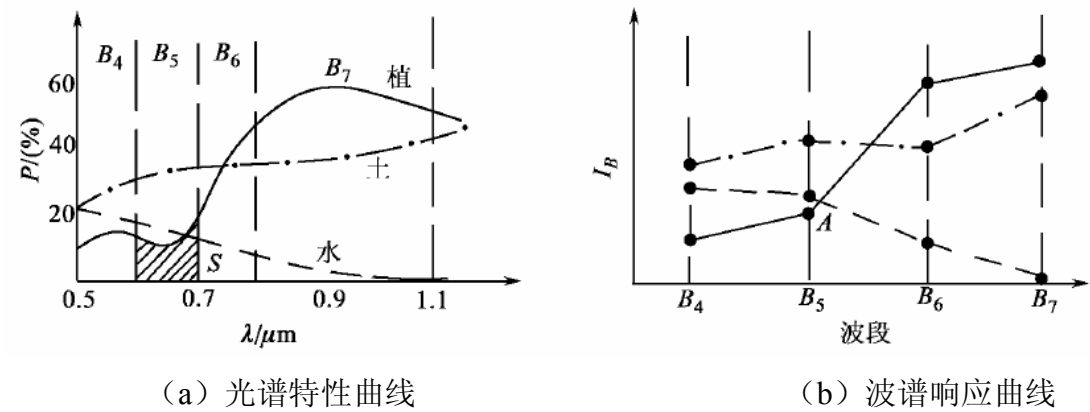


图 4-3-12 光谱特性曲线与波谱响应曲线

(2) 空间特征及其判读标志

景物的各种几何形态为其空间特征，它与物体的空间坐标 X、Y、Z 密切相关，这种空间特征在像片上也是由不同的色调表现出来。它包括通常目视判读中应用的一些判读标志：形状、大小、图形、阴影、位置、纹理、类型等。图 4-3-30 显示了各种地质线性构造类型。

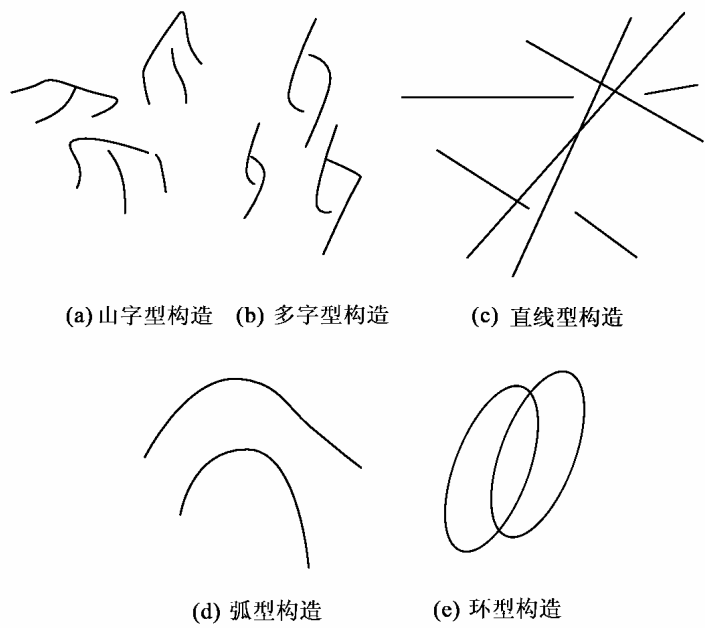


图 4-3-13 地质线性构造类型

(1) 时间特征及其判读标志

对于同一地区景物的时间特征表现在不同时间地面覆盖类型不同，地面景观发生很大变化。如冬天冰雪覆盖，初春为露土，春夏为植物或树林枝叶覆盖。对于同一种类型；尤其是植物，随着出芽、生长、茂盛、枯黄的自然生长过程，景物及景观也在发生巨大变化。

景物的时间特征在图像上以光谱特征及空间特征的变化表现出来。例如：水稻田在插秧前后为水的光谱特征，而在水稻长高时，一直到成熟之前都为植物的光谱特征，特别在收割前后，田中无水的迹象，表现为土壤的光谱特征。

2. 目视判读的方法

遥感影像目视判读方法是指根据遥感影像目视判读标志和判读经验识别目标地物的办法和技巧。常用的方法有以下几种。

（1）直接判读法

直接判读法是根据遥感影像目视判读标志直接确定目标地物属性与范围的一种方法。使用的判读标志包括色调、色彩、大小、形状、阴影、纹理、图型等。例如，在可见光黑白像片上，水体对光线的吸收率强，反射率低，水体呈现灰黑到黑色，根据色调可以从影像上直接判读出水体，根据水体的形状则可以直接分辨出水体是河流还是湖泊。

（2）对比分析法

对比分析法是指采用不同波段、不同时期的卫星图像和各种地物波段的测试数据及其它有关地面调查资料，进行对比分析，将原来不易区分开的地物区分开。

（3）信息复合法

信息复合法是利用透明专题图或者透明地形图与遥感图像重合，根据专题图或者地形图提供的多种辅助信息，识别遥感图像上目标地物的方法。例如，TM影像覆盖的区域比较大，影像上土壤特征表现不明显，为了提高土壤类型判读精度，可以使用信息复合法，如利用植被类型图增加辅助判读信息等。

（4）逻辑推理法

由于卫星图像的比例尺小，地面分辨率较低，许多地面景物不能靠直接的判定和对比分析判读出来，而主要靠判读人员的专业知识和实践经验，应用地学规律进行相关分析的逻辑推理方法进行判读。

3. 目视判读的一般步骤

（1）目视判读准备工作阶段

为了提高目视判读质量，需要认真做好目视判读前的准备工作。一般来说，准备工作包括：明确判读任务与要求；收集与分析相关资料；选择合适波段与恰当时相的遥感影像。

（2）建立判读标志

首先在室内通过对卫星图像的分析研究，确定野外考察的典型路线和典型地段，然后通过卫星图像的野外实地对照、验证，从而建立各种地物目标在图像上的判读标志。

（3）基于遥感影像判读标志的室内详细判读

首先对具体解译区域进行宏观分析，建立总的概念，然后再根据判读标志，进行专题内容的识别和分析。在详细判读过程中，要及时将判读中出现的疑难点、边界不清楚的地方和有待验证的问题详细记录下来，留待野外验证与补判阶段解决。

（4）野外验证

室内目视判读的初步结果需要进行野外验证，以检验目视判读的质量和判读精度。对于详细判读中出现的疑难点、难以判读的地方则需要在野外验证过程中补充判读。

（5）疑难问题的补判

补判是对室内目视判读中遗留的疑难问题的再次判读。其方法是根据判读过程中的详细记录，找到疑难问题的地点，通过实际考察或调查，确定其地物属性。若疑难问题具有代表性，应建立新的判读标志。根据野外验证情况，对遥感影像进行再次判读。

（6）目视判读成果转绘与制图

遥感图像目视判读成果，一般以专题图或遥感影像图的形式表现出来。将遥感图像目视判读成果转绘成专题图可以采用手工转绘图和转绘仪成图两种方法。

应当指出，上面介绍的遥感图像目视判读的基本步骤，仅是判读过程中的一个基本流程，在实际判读中，往往多次重复以上基本过程或其中部分过程。

5. 影像分类

遥感图像分类就是对地球表面及其环境在遥感图像上的信息进行属性的识别和分类，从而达到识别图像信息所相应的实际地物，提取所需地物信息的目的。用计算机进行遥感图像分类，是模式识别技术在遥感技术领域中的具体运用，是遥感图像处理的重要内容和关键技术之一。

目前，遥感图像的自动识别分类主要采用决策理论（或统计）方法，按照决策理论方法，需要从被识别的模式（即对象）中，提取一组反映模式属性的量测值，称之为特征，并把模式特征定义在一个特征空间中，进而利用决策的原理对特征空间进行划分。以区分具有不同特征的模式，达到分类的目的。遥感图像模式的特征主要表现为光谱特征和纹理特征两种。基于光谱特征的统计分类方法是遥感应用处理在实践中最常用的方法；基于纹理特征的统计分类方法一般作为光谱特征统计分类方法的一个辅助手段来运用，但对于某些地区与目标地物而言，纹理特征有时可起到关键性作用，被称为“纹理能量法”。除此之外，遥感图像的自动识别还有其他的一些方法，如决策树方法、模糊聚类法、神经网络法、面向对象分类方法等。

1) 监督分类

从分类前能否获得训练样本类别这一先验信息角度划分，遥感图像分类方法可分为两类：监督分类和非监督分类。

如果我们事先已经知道样本区类别的信息，这种信息可以通过对分类地区的目视判读，实地勘察或结合 GIS 信息获得。在这种情况下对非样本数据进行分类的方法称为监督分类。监督分类是基于我们对遥感图像上样本区内地物的类别已知，于是可以利用这些样本类别的特征作为依据来识别非样本数据的类别。

监督分类的思想是：首先根据已知的样本类别和类别的先验知识，确定判别函数和相应的判别准则，其中利用一定数量的已知类别的样本的观测值求解待定参数的过程称之为学习或训练，然后将未知类别的样本观测值代入判别函数，再依据判别准则对该样本的所属类别作出判定。

监督分类的主要步骤包括：1)确定感兴趣的类别数；2)特征变换和特征选择；3)选择训练样区；4)确定判别函数和判别规则；5)根据判别函数和判别规则对非训练区的图像区域进行分类。常用的监督分类方法有最大似然分类法、最小距离分类法、马氏距离分类法等。

2) 非监督分类

非监督分类是指人们事先对分类过程不施加任何的先验知识，而仅凭数据遥感影像地物的光谱特征的分布规律，即自然聚类的特性，进行“盲目”的分类；其分类的结果只是对不同类别达到了区分，但并不能确定类别的属性；其类别的属性是通过分类结束后目视判读或实地调查确定的。非监督分类也称聚类分析。一般的聚类算法是先选择若干个模式点作为聚类的中心。每一中心代表一个类别，按照某种相似性度量方法（如最小距离方法）将各模式归于各聚类中心所代表的类别，形成初始分类。然后由聚类准则判断初始分类是否合理，如果不合理就修改分类，如此反复迭代运算，直到合理为止。

与监督法的先学习后分类不同，非监督法是边学习边分类，通过学习找到相同的类别，然后将该类与其它类区分开，但是非监督法与监督法都是以图像的灰度为基础。通过统计计算一些特征参数，如均值，协方差等进行分类的。所以也有一些共性，常用的非监督分类方法有 K-均值、ISODATA、平行管道法等。

卫星影像质量评价

遥感卫星影像在成像或传输过程中可能会出现几何畸变、信息量减少，并附加额外噪声而引起影像质量的下降。遥感影像质量的优劣直接影响其后续产品如数字线划图、数字高程模型等的质量。通过质量评价可以对影像的获取、处理等各环节提供监控手段，同时影像质量评价还对遥感器的检校具有指导意义。

数字影像的质量由几何质量、构像质量和元数据质量三方面构成，其中几何质量描述了

影像能正确恢复原始景物位置和形状能力;构像质量反映了影像对某一波谱段的敏感能力和能为目视分辨相邻两个微小地物提供足够反差的能力;元数据是描述数据的数据,数字影像相应元数据文件的完整与可靠程度直接影响数字影像的应用范围。

在购买遥感影像时,首先应该明确影响成像和接收的参数范围,如影像的云雾覆盖量、影像成像侧视角、影像接收倾角、以及影像的成像时间等。对于满足这些要求的情况下,获取影像后,可采取以下方法进一步评价其质量。

目视判读质量 主要有经验丰富的解译员通过目视来判断影像光谱信息是否丰富,纹理结构是否清晰,影像的云雾量的多少,影像的对比度和反差如何,是否存在局部的几何失真、变形,以及镶嵌影像有无明显的接缝、色彩过渡是否自然等。判断影像中能否清楚的分辨出各种地物类型,满足目视解译要求。

影像直方图 直方图是一种很有用的遥感信息图形表达方式。在许多遥感研究中,经常要显示和分析每个波段的直方图。直方图能够为分析人员提供了一种原始数据质量的评价方式,如影像对比度的高低和实际影像是否具有多峰性等。直方图经常被用于影像增强的效果评价。

查看影像中特定位置和地理区域的像元亮度 查看影像中单个像元亮度值是数据质量和信息量评价的有效手段之一。事实上,所有的数字影像处理系统都允许分析人员进行以下操作:

- 鼠标在影像上移动显示该点对应地理坐标和 n 波段上单点的亮度值
- 以矩阵(栅格)形式显示单波段上像元的亮度值

根据以上功能,可以对于根据地理位置,考察特定地物的像元亮度值来评价影像的质量。对于小面积内地理区域,可以采用将地理区域内各个像元的亮度值生成伪三维表达,进行可视化观察评价影像质量。

多波段影像多元统计分析

遥感影像通常提供多个波段的影像。计算波段之间的多元统计量是非常有用的,比如通过计算多个波段之间的协方差和相关性,可确定各个观测值是如何协同变换的,进而评价多波段影像的冗余度。

影像元数据检查

元数据包括:文件名、最后修改日期、量化等级、行列数、波段数等元数据称为描述数据的数据,数字遥感影像的元数据包括影像数据的获取方式、格式、质量等参考信息,归纳起来这些参考信息可以分为以下三类:

(1)有关影像获取的信息,包括传感器的类型、检定参数、摄影时间、像元大小、摄影焦距、航高、存储格式、量化等级、行列数、波段数、一元统计量(最大最小值、均值、中值、众数)、地理参考的说明等。

(2)影像的处理过程。如果产品是正射影像应包括采用的几何和辐射纠正方法,纠正原始数据的来源如 DEM 数据的来源、精度以及控制点的来源、精度等。

(3)影像的质量检查状况，包括采用的检查方法、过程、检查结果等。有关质量检查情况的内容有利于用户确定产品的可用性和质量、精度的支持程度等。

数字影像的元数据通常会以数据文件形式存在，利用计算机可以通过在元数据文件中设立相应的标志以实现对元数据文件完整性的自动检查。

7. 影像几何质量评价

对遥感影像的几何质量检查主要采取地面检查点来进行的。在影像上选定一定数量的检查点，利用 GPS 或其他手段得到检查点的一组高于正射影像精度的坐标，将这组坐标与影像上判读出来的检查点坐标比较，利用两者的坐标差描述影像的几何质量。地面检查点的选择应遵循易于辨认、分布均匀的原则。其计算指标用均方根误差表示：

$$\begin{aligned} RMSE_x &= \sqrt{\frac{\sum (X_i - X_c)^2}{n}} \\ RMSE_y &= \sqrt{\frac{\sum (Y_i - Y_c)^2}{n}} \end{aligned} \quad (4.2.14)$$

其中， X_i 、 Y_i 是从影像上获取的检查点坐标， X_c 、 Y_c 是利用其他手段获取的高精度坐标数据。N 是检查点的个数。

对于正射影像，也可以将其与更高一级精度的地图进行叠加，通过两者的符合性进行检查。

另外，还可以采用计算影像的调制传递函数和对影像进行地统计学分析等方法对影像质量进行评价。

3.8 根据项目要求，确定各种产品的数据格式

考点分析：

- 1) 4D 常用格式
- 2) 数字摄影测量测图文件格式

摄影测量数字测图数据以图幅为基本记录单位，按矢量数据方式存贮。地形图要素的高斯坐标、高程和距离均用米表示；小数点后最多取三位；角度用 60 进制度分秒表示，最多取至整秒。地形图注记在图面上的位置用该注记第一个字符左下角的高斯坐标表示，其注记指向用和 y 轴的夹角表示，单位和尾数取舍同地形图要素，注记的字高、间距则用毫米表示，小数点后取一位。除上述外，其他各项数据的计量单位均应逐项标出。

数据文件的记录形式采用标准的 ASCII 文本文件记录。地形图要素的分类和代码按 GB/T 13923 执行。数据文件的分类和命名如表 5 所示：

表 5			
文件类别	命名	文件类别	命名
图幅基本信息文件	图号. MAP	等高线文件	图号. CON
像片定向文件	图号. POR	注记文件	图号. ANN
点要素文件	图号. POI	数字高程模型文件	图号. DEM
线要素文件	图号. LIN	数据质量评价文件	图号. EST

摄影测量数字测图的图幅基本信息文件、像片定向文件、线要素文件、等高线文件、注记文件、数字高程模型文件以及数据质量评价文件的记录格式要求和规范请参考国家摄影测量数字测图记录格式 **GB/T 17158**。

9 测绘航空摄影考试基本要求

9.1 根据项目要求，编制航摄计划。选择合适的航摄季节和航摄时间；根据测区的范围、地形、飞行平台等的具体情况划定摄区、确定航摄分区及航摄基准面，以及航线敷设方法

考点分析：

1) 航摄计划编写

航摄设计书的内容应包括：封面、任务说明、航摄因子计算表、飞行时间计算表、航摄材料消耗计算表、GPS领航数据表、摄区略图等。设计书的每一项内容都有严格的规范和要求，比如航摄设计书封面就应包括设计书名称、摄区代号、用户单位、审批单位及编制时间等要素。

航摄设计书的编制要遵循一定的方法与程序，主要涉及的工作有：准备工作、划分航摄分区、确定分区平均平面高程、绘制摄区略图。计算航摄主要数据和编写任务说明。

航 摄 因 子 计 算 表

摄区代号：0507 航摄仪类型：DMC 焦距：120mm 机型：Y12

分 区	1		备 注
地区分类	Ⅱ		
面积 km ²	8302		

摄影比例尺		1:25000						
分 区	品目	高度(m)	Q _x (%)	Q _y (%)	高度 (m)	Q _x (%)	Q _y (%)	
	最高点	1850	58	16				
	最低点	500	73	46				
	平均面(m)	1200						
平均平面上航高 m		3000						
绝对航高 (m)		4200						
合同规定航向重叠		67%						
航线敷设方法		常规						
基 线 (m)		760.3						
摄线间隔 (m)		2737.15						
分区宽度 (km)		74.3						
摄线条数		28						
摄线总长度 (km)		3278.5						
每条摄线像片数 (张)		155						
分区像片数 (张)		4340						
南出图		50%						
北出图		50%						
东出图		三条基线						
西出图		三条基线						

测区信息、资料搜集 在进行航摄规划设计之前应先搜集航摄地区现有的最新地形图和自然地理概况，如果该区域曾经进行过航空摄影，则应搜集该区的航摄资料和大地测量成果，要详细了解该航摄地区的地形、地势情况，地物点高程、地物种类和特性以及他们的分布情况，以便适当的划分摄影分区、设计航线，正确进行航摄技术计算和选择合适的摄影材料。

另外，还要搜集航摄地区的气象资料，因为这是确定航摄工作时期的重要依

据。所要了解的气象资料主要包括:每年每月的晴天数、阴雨天数和大风天数,每月的平均气温和平均降水量等,根据这些气象资料,可以估计出每月的航摄天数,由此可以确定航摄工作的开始和结束的大约期限以及所需的飞机架次。所以对气象信息的了解,对航摄的业务组织和计划是非常重要的。

设计用图的选择 航空摄影航摄规划设计是在一定图纸上进行的,设计用图应选择可靠、出版时间较近的地形图作为航摄设计用图。设计用图的比例尺一般应根据测图比例尺来选择,选择用图的比例尺与测图比例尺具有一定的比例关系,选择设计用图比例尺过大,则增加设计工作量,过小则影响设计精度。在兼顾设计精度和设计工作量的同时,保证设计用图比例尺和航摄比例尺的倍率在 2—5 倍之间。

选择最佳航摄季节 应在合同规定的航摄作业期限内,综合考虑下列主要因素:
a) 摄区晴天日数多; b) 大气透明度好; c) 光照充足; d) 地表植被及其覆盖物(如洪水、积雪、农作物等)对摄影和成图的影响最小; e) 彩红外、真彩色摄影,在北方一般避开冬季。

航摄时间的选定原则如下:既要保证具有充足的光照度,又要避免过大的阴影,一般按表1规定执行。对高差特大的陡峭山区或高层建筑物密集的特大城市,设计时亦可参照下列公式计算:

$$T_{\varphi} = 12^h - \sqrt{\frac{1 - \cos t_{\theta}}{0.03}}$$
$$\cos t_{\theta} = \frac{h_{\theta} - \delta_{\theta}}{90^{\circ} - \varphi}$$

式中: T_{φ} ——摄区的地方时(使用时应换算成北京标准时);
 12^h ——摄区当地正午时间;
 t_{θ} ——太阳时角,单位为度($^{\circ}$);
 h_{θ} ——摄影要求的太阳高度角,单位为度($^{\circ}$);
 δ_{θ} ——摄影日期的太阳赤纬,单位为度($^{\circ}$);
 φ ——摄区的平均纬度,单位为度($^{\circ}$)。

表 1		
地形类别	太阳高度角 (h_{θ})	阴影倍数/倍
平地	$>20^{\circ}$	<3
丘陵地、小城镇	$>30^{\circ}$	<2

山地、中等城市	$\geq 45^\circ$	≤ 1
高差特大的陡峭山区和高层建筑物密集的大城市	限在当地正午前后各 1h 进行摄影	< 1

沙漠、戈壁滩等地面反光强烈的地区，一般在当地正午前后各 2h 内不应摄影；彩红外与真彩色摄影应在色温 45 00K ~68 00K 范围内进行；雨后绿色植被表面水滴未干时不应进行彩红外摄影。

航摄分区的划分原则： a) 分区界线应与图廓线相一致；b) 分区内的地形高差不得大于四分之一航高（以分区的平均高度平面为基准面的航高；c) 在地形高差许可且能够确保航线的直线性的情况下，航摄分区的跨度应尽量划大，同时分区划分还应考虑用户提出的加密方法和布点方案的要求；e) 当地面高差突变，地形特征差别显著或有特殊要求时，可以破图幅划分航摄分区。

航线敷设原则： a) 航线飞行方向一般设计为东西向，特定条件下亦可按照地形走向或专业测绘的需要，设计南北向或沿线路、河流、海岸、境界等任意方向飞行；b) 按常规方法敷设航线时，航线应平行于图廓线，位于摄区边缘的首末航线应设计在摄区边界线上或边界线外；c) 根据合同要求航线按图幅中心线或按相邻两排成图图幅的公共图廓线敷设时，应注意计算最高点对摄区边界图廓保证的影响和与相邻航线重叠度的保证情况，当出现不能保证的情况时，应调整航摄比例尺；d) 对水域、海区敷设航线时，应尽可能避免像主点落水，应保证所有岛屿覆盖完整并能组成立体像对；e) 采用GPS领航时，应计算出每条航线首末摄站的经纬度（即坐标）；f) GPS辅助空三航摄时，加密分区航线两端按合同要求布设控制航线；控制航线应满足GB/T 15661的要求；当沿图幅中心线敷设航线时，平行于航摄飞行方向的测区边缘应各外延一条航线。

9.2 根据成图比例尺、测图精度、测图仪器设备和测图方法等选择航摄仪，并进行检定；确定摄影比例尺、焦距、像幅以及需要配备的航摄附属仪器。

航摄仪的选择主要根据测图精度要求、测图的仪器设备、测图比例尺、测图方法以及现

有航摄设备等综合考虑确定，但所选航摄仪的基本性能不应低于表 2 的要求。

表 2	
项 目	要 求
像幅	230mm×230mm
焦距	85mm～310mm
有效使用面积内镜头分辨率	每毫米内不少于 25 线对
径向畸变差	焦距>90mm 时， $\geq 0.015\text{mm}$ ， 焦 距 $\leq 90\text{mm}$ 时， $\geq 0.002\text{mm}$
曝光时间	1/100 s ～1/1000 s
色差校正范围（波长）	400nm～900nm

除表 2 列出的 6 项基本性能要求外，对航摄仪其他性能的要求，参照 MH/T 1005 的相关规定执行。

根据每台航摄仪的稳定状况，凡有下列情况之一者，还应进行航摄仪器的检定：a) 距前次检定时间超过两年；b) 快门曝光次数超过 20000 次；c) 经过大修或主要部件更换以后；d) 在使用或运输过程中产生剧烈震动以后。检定应由具有相应资质的法定检验单位进行。检定项目和检定精度要求按表 3 规定执行。

表 3	
项 目	要 求
检定主距	± 0.005
框标坐标	± 0.005
框标距离	± 0.003
径向畸变差	± 0.005
最佳对称主点坐标	± 0.005
自准直主点坐标	± 0.005
镜头分辨率	每毫米内不少于 25 线对
快门速度	1/100 s ～1/1000 s

检定方法按 MH/T 1006 执行，检定时，航摄仪物镜应戴上黑白航空胶片摄影时常用的滤光镜。各项检定数据应准确地记入航摄仪履历簿和航摄鉴定表中。

航摄比例尺应根据不同摄区的地形特点，在确保测图精度的前提下，本着有利于缩短成图周期、降低成本、提高测绘综合效率的原则选择。

根据用户的需要，航摄中可以配备和使用相关的附属仪器（含 GPS 辅助“空三”航摄），其性能应满足用户提出的技术要求。所用附属仪器的检定项目和检定方法，除另有专项规外，可按生产厂方提供的使用规定执行。

9.3 根据项目的精度和提供成果的要求，选择确定采用光学航摄或者数码航摄。

可根据项目的精度和提供成果的要求，选择确定采用光学航摄或者数码航摄。

光学航摄仪的基本结构大致由四部分组成：摄影镜箱、暗盒、座架和控制器。其中摄影镜箱是航摄仪最主要的组成部分，它由物镜筒和外壳组成；暗盒装在镜箱上部，与贴附框紧密接合，是安装航摄胶片的地方；座架是安置航摄镜箱和暗盒的支撑架，也是航摄仪的一个重要组成部分；控制器是航摄仪工作的操纵构件，它操纵并监督航摄仪的工作。航摄仪除了上述四个基本部件外还有一个重要附件，即检影望远镜摄影作业人员可以通过检影望远镜整平航摄仪和改正航偏角。

早期的航摄仪由于光学制造和机械加工水平的限制，像幅多为 $18\text{cm} \times 18\text{cm}$ ，其自动化程度也较低。随着科技的进步， $18\text{cm} \times 18\text{cm}$ 像幅的航摄仪已被淘汰，取而代之的是像幅为 $23\text{cm} \times 23\text{cm}$ 的航摄仪，自动化程度也有了很大提高。20 世纪末已经研制出数码航摄仪。目前，数字航摄仪已由试验阶段开始进入实际使用中。随着传统胶片式航测相机的相继停产，航空数字相机已逐渐取代传统的胶片型航测相机，成为大比例尺地理空间信息获取的主要手段。

数字航摄仪的成像原理和模拟航摄仪是一样的，只是在记录影像的介质上有所差异：模拟航摄仪的记录介质是传统的胶片感光材料，而数字航摄仪的记录方式是通过电荷耦合器件（CCD）把接收到的数字影像直接记录在磁盘上。

数字航摄仪按其工作方式（或 CCD 器件的排列方式）可分为面阵式 CCD 航摄仪和线阵式 CCD 航摄仪。面阵式航摄仪是利用面阵 CCD 记录影像；线阵式航摄仪是利用线阵 CCD 的扫描记录影像。面阵 CCD 的优点是可以直接获取二维图像信息，测量图像直观。缺点是像元总数多，而每行的像元数一般较线阵少，帧幅率受到限制；而线阵 CCD 的优点是一维像元数可以做得很多，而总像元数角较面阵 CCD 相机少，而且像元尺寸比较灵活，帧幅数高，特别适用于一维动态目标的测量。所以面阵式 CCD 航摄仪和线阵式 CCD 航摄仪各有优缺点，在航摄时可根据实际需要和现实条件进行选择。



图 2—1 光学和数码航摄影

9.4 根据航摄仪器的具体情况组织试飞或试摄，确定和调整有关参数。

进行航摄任务实施前一般还要进行试飞和试摄，需要试飞和试摄的情况包括：a) 新改装的航摄飞机，在正式作业前须进行试飞；b) 新编成的航摄机组，在正式作业前须组织试飞和试摄；c) 航摄机组为掌握摄区的地形特征及气象条件等实况在正式作业前组织的视察飞行；d) 每年正式作业前，须对每台航摄影（包括新购进的、检修后的和油封后重新启用的航摄影）进行试摄。

通过对试飞、试摄所获成果的分析研究，确认各项设备参数是否符合正常工作状态，如果不符合必须进行相应的调整，满足要求后，方可正式开始航摄。

9.5 确定飞行质量和摄影质量的检查要求，并根据情况按航摄规范的相关要求进行质量控制，对影像质量进行验收

飞行质量主要包括像片重叠度，像片倾角和旋角，航线弯曲度和航高，图廓覆盖和分区覆盖以及控制航线等内容。

航向重叠度一般应为60%–65%；个别最大不应大于75%，最小不应小于56%。沿图幅中心线和沿旁向两相邻图幅公共图廓线敷设航线，要求实现一张像片覆盖一幅图和一张像片覆盖四幅图时，航向重叠度可加大到80%–90%。

相邻航线的像片旁向重叠度一般应为30%–35%，个别最小不应小于13%。按图幅中心线和旁向两相邻图幅公共图廓线敷设航线时，至少要保证图廓线距像片边缘不少于1.5cm。

像片倾斜角一般不大于 2° ，个别最大不大于 4° 。

像片旋角可根据航摄比例尺及航高设定一个最大值，航摄比例尺越大，像片旋角的允许值就越大，但一般以不超过 8° 为宜。当采用数字测图方法时，在确保像片航向和旁向重叠度满足要求的前提下，像片旋偏角可在上述各项规定的基础上，相应放宽 2° 执行。此外，在一条航线上达到或接近最大旋偏角的像片数不应超过三片，且不应连续；在一个摄区内出现最大旋偏角的像片数不应超过摄区像片总数的4%。

航线弯曲度一般不大于3%。

同一条航线上相邻像片的航高差不应大于20 m（较小比例尺可以放宽到30m）；最大航高与最小航高之差不应大于30 m（较小比例尺可以放宽到50m）。航摄分区内实际航高与设计航高之差不应大于50 m；当相对航高大于1 000 m时，其实际航高与设计航高之差不应大于设计航高的5%。

摄区边界覆盖保证：航向覆盖超出摄区边界线应不少于一条基线。旁向覆盖超出摄区边界线一般不少于像幅的50%，最少不少于像幅的30%；按图幅中心线和旁向两相邻图幅公共图廓线敷设航线时，旁向覆盖超出摄区边界线（图廓线）最少不少于像幅的12%。

分区覆盖保证：相邻分区间如航线方向相同，旁向正常接飞，航向各自超出分区界线一条基线。相邻分区间航线方向不同时，航向各自超出分区界线一条基线，旁向超出分区界线一般不少于像幅的30%，最少不少于像幅的15%；按图幅中心线和旁向两相邻图幅公共图廓线敷设航线时，旁向超出分区界线最少不少于像幅的12%。

图廓覆盖保证：由于摄区边界线和分区界线一般均与图廓线重合，对图廓覆盖的要求与上述相同。

实际航迹偏离图幅中心线一般不应大于旁向图廓边长的 $1/5$ ；偏离旁向两相邻图幅公共图廓线一般不应大于航线间隔的 $1/5$ （相当于旁向图廓边长的 $2/5$ ）。当实际航迹偏离超过上述限值但其旁向覆盖仍能保证图廓线距像片边缘不少于1.5 cm时，可视为合格。

要求一张像片覆盖一幅图和一张像片覆盖四幅图时，中心片的选择要保证图廓线距像片边缘一般不少于2.5 cm，最少不少于1.5 cm，航线首末两端过渡片的

像主点应位于图廓线（或摄区边界线）之外，过渡片与中心片应能构成正常重叠的立体像对。

位于摄区周边的控制航线，要保证其像主点落在摄区边界线上或边界线之外，两端要超出摄区边界线四条基线。位于摄区内部加密分区间的控制航线，要保证其像主点落在所跨乘的加密分区界线两侧测图航线半条基线的范围内，两端要超出分区界线四条基线。控制航线间的交叉衔接处，要保证有不少于四条基线的相互重叠。

控制航线的摄影比例尺应比测图航线的摄影比例尺大25%左右，应有不小于80%的航向重叠度，要保证隔号像片能构成正常重叠的立体像对。

航摄影像的质量原则上应满足下列要求：能够正确地辨认出航摄底片上各种地物的影像；在航测加密和测图中，测绘仪器系统中的侧标能够精确地照准地物影像的边缘或中心；能够精确地测绘出被摄物体的轮廓以便正确量测地物大小和面积。

要满足上述要求，整卷底片的平均密度，灰雾密度，最小密度，最大密度等航摄底片的构像质量都要符合相关规范规定。

最大曝光时间的限定，除保证航摄胶片正常感光外，还应确保因飞机地速的影响，在曝光瞬间造成的像点最大位移不超过0.05mm。航摄胶片在曝光瞬间由于未能严格压平而在像平面上引起的像点位移误差（用检查点上的剩余上下视差（ Δq ）衡量）应不大于0.02mm，个别点最大不大于0.03mm；

用目视透光法直接观察底片，应影像清晰、层次丰富、反差适中、色调柔和；应能辨认出与航摄比例尺相适应的细小地物影像，能够建立清晰的立体模型，能确保立体量测的精度。底片上框标影像和其他记录影像清晰、齐全。底片上不应有云、云影、划痕、静电斑痕、折伤、脱膜等缺陷。除用于编制影像平面图、正射影像图和数字摄影测量的底片以外，对少数底片上虽然存在局部缺陷，但不影响立体模型的连接和常规测绘时，可用于测制线划图。

采用彩色、彩色红外航空胶片进行摄影时，应正确选择滤光镜，确保曝光量正常，底片密度和反差适中、影像清晰、色彩丰富、颜色饱和、彩色平衡良好。彩色红外摄影红外特征明显，相邻底片上相同地物的彩色基调基本一致。有关彩

色红外摄影影像质量控制的方法和标准可按照相关规范的规定执行。

航摄工作结束并将航摄资料送审后，就可以着手验收航摄资料。除了清点按合同要求应提供的资料名称和数量外，主要检查航摄负片的飞行质量和摄影质量。航摄单位应按上述要求对飞行质量和摄影质量进行检查。

具体的检查项目和要求参见国家地形图航空摄影规范（GB / T 6962，GB / T 15661）。

航摄单位按技术标准和航摄合同的规定对全部成果资料逐项进行认真检查并详细填写检查记录手簿。航摄单位根据航摄资料移交书和航摄合同的规定，对全部成果资料整理齐全后，提供给用户代表验收。用户代表对全部成果资料验收合格后，双方在移交书上签字并办理移交手续。双方代表协商处理检查验收工作中发现的问题，共同评价成果资料的质量。

用户代表在完成验收工作后，应及时写出验收报告。报告的主要内容应包括：航摄工作概况、航摄技术标准、验收的依据、航摄仪技术参数、完成的航摄面积和覆盖的图幅数、对成果资料质量的基本评价、存在的问题及分析处理意见等。

影像资料验收的具体规定参照国家地形图航空摄影规范（GB / T 6962，GB / T 15661）。

附录一：1:10000 数字高程模型（DEM）生产技术规定

Technical specifications for producing 1:10000 digital elevation models

1 范围

本规定规定了 1:10000 数字高程模型（DEM）的数据采集技术、生产工艺流程、作业规程及其质量控制要求。

本规定适用于 1:10000 数字高程模型的采集与建库，其它以 DEM 为基础的复合地图产品的制作以及 DEM 修测亦可参照有关部分执行。

2 引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本规定中引用而构成为本规定的条文。在本规定出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本规定的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T 17798-1999	地球空间数据交换格式
CH/T 1005-2000	基础地理信息数字产品数据文件命名规则
CH/T 1008-2001	基础地理信息数字产品 1:10000 1:50000 数字高程模型
CH/T 1007-2001	基础地理信息数字产品元数据
附录四	1:10000 数字正射影像图(DOM)生产技术规定

3 术语

3.1 不规则三角网 TIN（Triangulated irregular network）。

是基于三角形对数字高程模型表面建模的一种方法。由一个三角形代表了地表上一块等倾斜的平面，其高程的数学表达式为：

$$Z = a_0 + a_1x + a_2y$$

基于三角形表面建模，地形表面将由一系列相互连接严密无缝的三角形所构成，结构简单，应用灵活，其独特的优势是能够方便地融合断裂线等数据。

3.2 数字高程模型 DEM 格网

是基于正方形格网对 DEM 表面建模的一种方法，由方格网 4 点高程构成一个双线性表面，其数学表达为：

$$Z = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy$$

基于方格网的表面建模，其地形表面是由一系列相互邻接的双线性表面所构成，其数据存贮、处理极为简便，特别适用于大区域、地形连续、全局性的 DEM 表面建模。

4 资料准备

4.1 收集资料

收集资料时应注意优先收集现势性强的资料。

a. 同等比例尺或更大比例尺的实测地形图或 DRG 数据；

- b. 航空摄影资料
 - 底片或其扫描影像；
 - 测区航摄略图（含航线分布、像主点位置、图幅分幅）；
 - 航摄验收报告；
 - 航摄仪鉴定表。
- c. 由野外测量、空中三角测量加密或大比例尺地形图上获取的控制点资料（包括控制点位、坐标成果、分布略图）；
- d. 按图幅的坐标系改正数和高程系改正数（视其需要）。

4.2 资料分析

4.2.1 航摄资料的分析

a 航摄资料质量

1) 影像质量

- 航摄底片密度测定记录、底片压平测试数据记录；
- 有无影像缺陷，如云层覆盖、投影像差导致的影像死区，框标是否清晰完整等。

2) 飞行质量及其参数

飞行方向，航偏角，航线弯曲，像片倾斜角，航向、旁向重叠，航摄比例尺、航高。

3) 摄影时间等

b 航摄仪参数是否完整，包括：

- 框标坐标，象主点坐标、自准直点坐标（含坐标系与框标点号分布）

— 检定主距

— 径向畸变差等

4.2.2 地形图资料

a 成图年代，成图方法，采用的大地基准，高程基准，等高距，图式版本等；

b 成图材料（印刷图，薄膜图，刻图）与类型（合版图，分版图）；

c 原图若是采用 1954 年北京坐标系，则应准备 1954 年北京坐标系与 1980 西安坐标系变换所需的每幅图廓点坐标改正数与公里网坐标改正数。原图若不是采用 1985 国家高程基准，则应提供每幅图不同高程系统之间的改正值。

5 生产流程与技术要求

DEM 的产品内容、数据格式及技术指标按 CH/T 1008-2001 标准规定的要求执行。

DEM 的生产目前主要采用二种方式：

- a 地形图扫描矢量化法；
- b 数字摄影测量法。

5.1 地形图扫描矢量化法

5.1.1 生产工艺流程（见图 1）

5.1.2 技术要求

5.1.2.1 地形图扫描

- a 根据图面要素特别是等高线密度选择扫描分辨率，宜采用光学分辨率 500dpi 进行扫

描，一般不应低于 400dpi。

b 根据扫描图像灰度直方图选择亮度值与阈值，确保二值化后不漏要素，尽量减少断线和粘连。

5.1.2.2 定向与几何校正

栅格图像经定向与几何校正后，内图廓点、公里格网点的坐标与理论值偏差不大于 1.0m。

5.1.2.3 矢量化

a 图形要素点位置的采集偏离不大于 1m，线位置采集偏差不大于 1.5m。

b 图形要素的分层与代码应正确无误。

c 高程点、等高线无遗漏，高程赋值无误。

d 在图幅范围内至少选择 28 个高程检查点数字化，其中每条图边附近各 2 点，其余点在图内均匀分布。该数据文件单独记盘，交质检部门保存。

5.1.2.4 与邻图接边与拼接

a 相邻图幅应保证要素的位置接边与属性接边；

b 与周边幅图拼接，再根据需要作必要外扩，保证构 TIN 的范围能覆盖所需的 DEM 范围。

5.1.2.5 构 TIN

TIN 图形与等高线底图叠合，无异常三角形（包括不合理的平三角形与跨越等高线的狭长三角形等）。

5.1.2.6 内插 DEM

a 由 DEM 反生成的等高线与原图等高线按公里格网叠合检查，同名等高线偏移不大于 1/2 等高距。

b 接边处所有同名格网点的高程值应一致。

5.1.2.7 DEM 的图幅裁切与接边

a 裁切范围符合 CH/T 1008-2001 规定的要求。

b 相邻图幅 DEM 的公共格网点高程必须一致。

5.1.2.8 元数据文件

内容正确，无遗漏。

5.2 数字摄影测量法

5.2.1 生产工艺流程（见图 2）

5.2.2 技术要求

5.2.2.1 影像扫描

a 扫描分辨率的选择

如该影像数据需供给制作数字正射影像图（DOM）使用，则扫描分辨率的选择按附录四“1:10000 数字正射影像图(DOM)生产技术规定”有关要求执行。

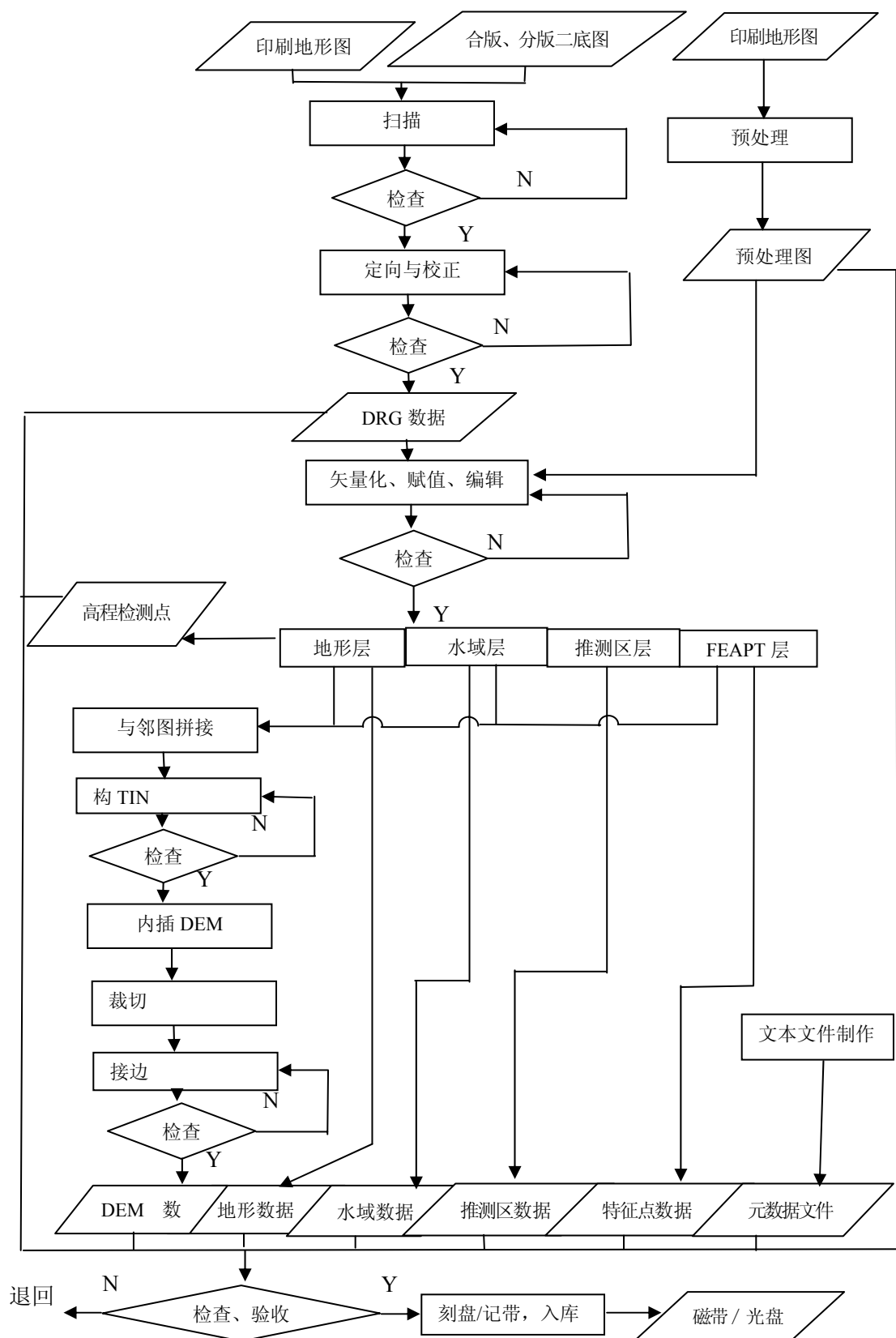


图 1 生产工艺流程

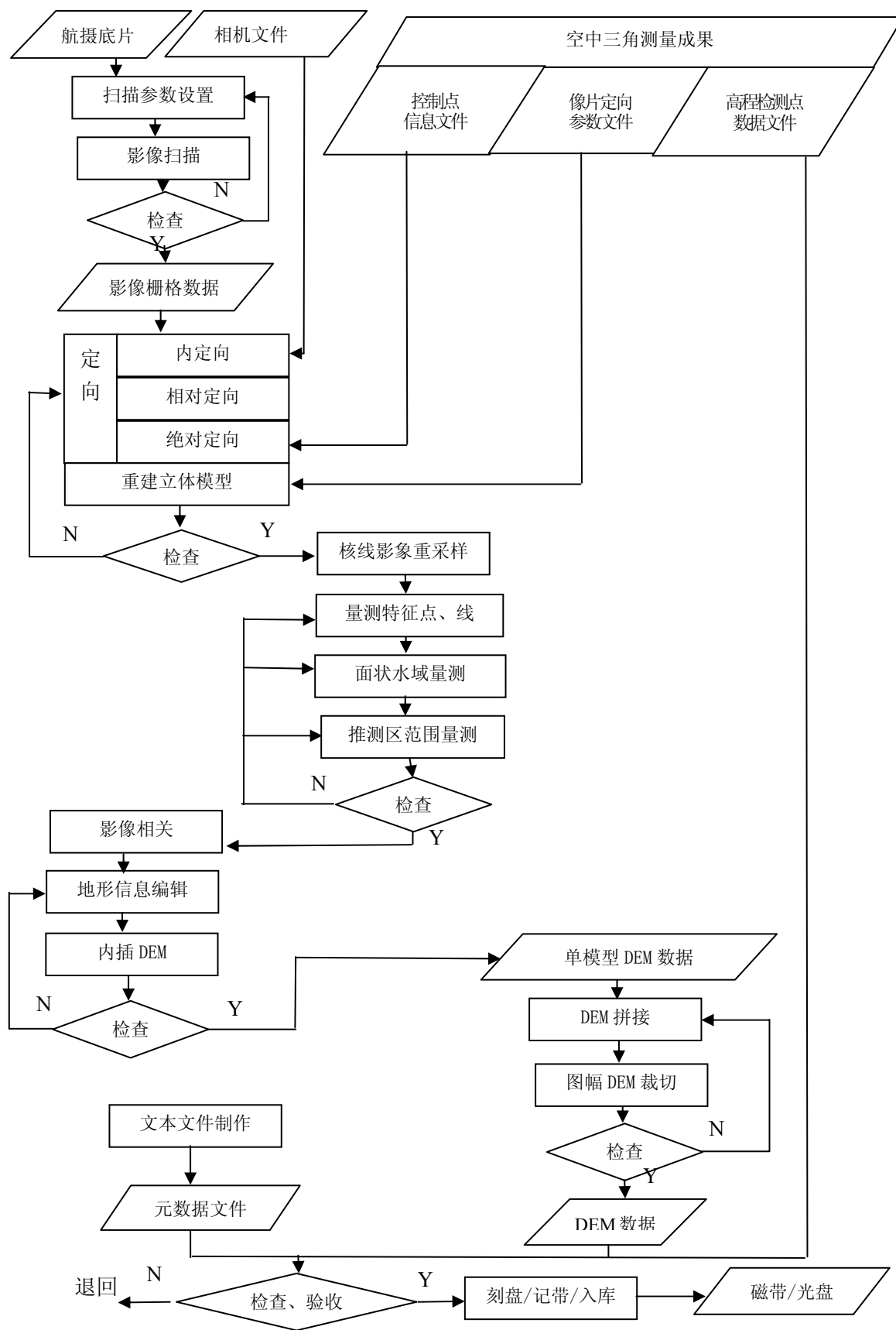


图 2 生产工艺流程图

一般情况下，以对应的地面分辨率为 0.8~1.0m 进行测算，即像片比例尺 1:35000，选择 25 μm，像片比例尺 1:25000，选择 35 μm。

b 扫描参数的测定与设置

扫描影像的灰度直方图在 0~255 间并近似正态分布。

c 扫描质量

扫描影像清晰，框标完整。

5.2.2.2 定向精度要求(见表 1)

表 1 定向精度要求

地类 \ 限差	内定向（mm）	相对定向（mm）	绝对定向（m）	
			平面	高程
平地	0.01	0.015 (0.02*)	2(3*)	0.3
丘陵			2(3*)	0.75
山地			3(4*)	1.5
高山地			3(4*)	2.25
注： 1 括号内*为允许个别点出现的残差值。 2 相对定向点数量一般不少于 50 点，且基本均匀分布。				

5.2.2.3 DEM 的格网间距与精度

a DEM 格网间距符合 CH/T 1008-2001 的规定。

b 凡是用于内插 DEM 的数据（如视差曲线、像方格网模型等），均应通过与影像立体模型配准，进行人机交互编辑，改正自动匹配造成的误差以及森林、楼宇高差，使之切准地面，去除粗差。

5.2.2.4 DEM 拼接

a 单模型 DEM 之间应至少有 2~3 个格网的重叠带。

b 接边前同名格网上高程较差不超过 2 倍格网点高程中误差。

c 接边后，所有同名格网点高程应一致。

5.2.2.5 DEM 图幅裁切

同 5.1.2.7。

5.2.2.6 元数据文件。

同 5.1.2.8。

6 作业规程

6.1 地形图扫描矢量化方法

6.1.1 作业要求

6.1.1.1 预处理

a 作业准备

— 原图为刻图膜的先翻晒二底图；

— 按矢量化软件与技术要求，建立图层控制模板，设置图层属性项及其字段名，字段类型，字节数及显示色等；

— 建立测区文件管理的目录路径。

b 地形图预处理

— 图幅等高线接边检查，特别是等高距不相同的图幅，有矛盾处应作出标示并提出处理方法并进行修正；

— 选择高程检测点的点位，绘出推测区范围，并在图边标示图例。

6.1.1.2 地图扫描

- a 选择适当的扫描分辨率。
- b 通过试验选择恰当的图像亮度值与阈值。
- c 减少数据量

— 上下图廓线尽可能放置得与扫描缝隙平行；

— 超出图廓整饰信息范围之外的无用数据裁去。

6.1.1.3 定向与几何校正

- a 根据需要，选择适合的坐标变换公式。
- b 设置地图重采样分辨率。一般采用其原始扫描分辨率，最临近点法重采样。
- c 坐标转换。如要将 1954 年北京坐标系转换为 1980 西安坐标系，则应根据每幅图左下角和公里格网坐标改正数，换算至 1980 西安坐标系，注意，每幅图四个图廓点的坐标改正数可能不一定相同，但同一个图廓点不论对周边哪幅图，改正数是唯一的。
- d 根据坐标变换公式确定控制点个数，选择点位位置
 - 相似变换，至少量测两点（内图廓的对角），再加另两角点作为多余观测；
 - 仿射变换，至少量测三点（三内图廓点），再加上一角点作为多余观测；
 - 双线性变换，至少量测四个内图廓点，再在图幅中部加测 1~2 个格网点；
 - 二次多项式变换，至少量测六点（内图廓点四角，图内均匀分布两个格网点），另加三个以上格网点；
- 逐格网几何校正。如图幅几何变形无规律，导致整幅图坐标变换残差超限，则应采取逐格网双线性变换或三角网仿射变换，此时无需多余观测点。
- e 依次切准点位，录入其高斯平面坐标。量测定向点时，应在放大状态使光标精确对准栅格影像的点位中心。
- f 平差计算。检查残差，如超限应分析原因，对可疑点重测重算。必要时，提升几何校正的坐标变换方式，直至合格。

6.1.1.4 矢量化

- a 全要素版地形图通常采用人机交互方式矢量化，对分版的等高线要素可采用自动矢量化。
- b 对采用“流”或“管道”方式自动跟踪线划要素的软件，应根据操作手册恰当选择设置参数，既保证线划位置精度，又有效控制采样点的密度，减少数据冗余，保证构 TIN 时三角网与等高线之间关系合理。一般情况下，管道半径控制在 1m，管长平地设置为 50m，丘陵 30m，山地 10m 左右。
- c 等高线应连续，地貌符号（如陡崖、斜坡、双线冲沟等）要尽可能转变为等高线表示，但应根据其地形特征合理反映变坡线的位置。如原图等高线太密，只绘计曲线省略首曲线而补连的工作量又大时，只要是等坡度可不作连通处理，但曲线断头处理要整齐，方向保持一致，避免构 TIN 时出现不合理三角形导致地形失真。
- d 封闭水域（面积超过图上 25mm^2 的水库、湖泊等）应将水涯线作为具有相同高程的“等高线”来采集，水涯线高程应与上下游及周边的等高线高程点的高程相协调，不矛盾，

构TIN时形成合理的“平三角形”。双线河按水涯线采集。当面状水域跨图幅时，则以图廓线为辅助线进行封闭。

e 推测区范围的采集。高程精度达不到精度要求的区域应数字化其边界，作为高程推测区提供给用户。譬如：

- 草绘等高线的区域（含雪域）；
- 大范围内（图上面积 $1.5 \times 1.5\text{cm}^2$ 以上）无等高线，高程注记点又达不到规定密度（5点/ km^2 ）的城镇街区、沼泽、乱掘地等；
- 以符号表示（图上面积大于 $1.5 \times 1.5\text{cm}^2$ ）的地貌区（如陡石山、沙丘等）；
- 海域（含具有水深点、等深线的水域）。

f 矢量地形数据的内容与分层
为便于矢量地形数据的管理与应用，对要素内容进行分层并赋代码(见表 2、表 3)。

表 2 矢量地形数据的内容与分层

层名	要素内容	几何特征	代码	备 注
地形信息层 TERLK	高程点	点	72010	含具有地表高程能参与构 TIN 的三角点、水准点等
	等高线	线	71000	
水域层 WTLNT	水库水涯线	线面	24010	用于构造面状水域
	湖泊水涯线	线面	23010	
	岛周边的水涯线	线面	23021	
	双线河水涯线	线面	21021	
	海岸线	线	26010	
	辅助线	线		
推测区层 EIA NT	推测区范围	面	72012	*
辅助高程层 FEAPT	软件内插的高程点	点	72011	用于构 TIN，防止出现不 合理的“平三角形”
公里网层 NETLN	54 图廓线	线		*
	54 公里网	线		*
	80 图廓线	线		*
	80 公里网	线		*

注：带*者无高程信息，不参与构 TIN。

表 3 各层属性项及其定义

层次	项名	特征	输入宽度	输出宽度	类型	小数后位数
TERLK	CODE	临时代码	3	3	I	-
	ELEV	高程	8	8	N	2
WTLNT	CODE	临时代码	3	3	I	-
	ELEV	高程	8	8	N	2
EIA NT	CODE	临时代码	3	3	I	-
FEAPT	CODE	临时代码	3	3	I	-
	ELEV	高程	8	8	N	2
NETLN	CODE	临时代码	3	3	I	-

g 高程检测点的采集
根据预处理的要求，在图内采集高程检测点，测完后形成检查点文件，存盘交质检部门。

6.1.1.5 矢量数据接边与拼裁

- a 矢量数据接边包含位置接边与属性接边。
- 1) 属性接边。首先检查要素代码与高程的正确性，保证同属性要素才能接边。

2) 位置接边。接边时,要考虑接边后要素几何形态的合理性,如等高线平滑自然,防止硬接。具体可根据以下原则处理:

- 接边差<3m,可只移动一方接边。
- 接边差 3~6m,两边向中间各移一半。

接边差>6m,应检查分析原因,再作处理。一般处理原则是:根据成图方法低精度向高精度靠,根据成图时间旧数据向新数据靠,两边情况完全等同时各改一半强行接边。

不同等高距的图幅接边,只接同高程的等高线。

跨带接边,需将邻带图幅进行投影变换成为本带坐标再进行矢量数据接边,接好边再反变换回去。

相邻图幅采用不同高程基准时,等高线不作接边,而采用软件将非 1985 国家高程基准的图幅高程改正叠加至该图幅的所有高程数据上,然后直接拼接构 TIN。

相邻图幅采用不同的大地基准或不同的平面坐标系时,应在统一到 1980 西安坐标系的基础上,补充可能出现的裂隙带内的数据后再进行接边。

b 与周边图拼接与裁切。将中心图幅与周边 8 幅图数据一起调入自动进行拼接。根据软硬件的性能水平,可采用以下两种方法进行裁切:

- 1) 按单幅图为中心作必要外扩进行裁切;
- 2) 采取多幅图成区域性的拼接再适当外扩进行裁切。

根据构 TIN 需要,对地形数据进行外扩矩形裁切,一般比原图廓线外扩 100~300m,以涵盖到周边图幅的等高线与高程点为原则,故山地、丘陵地外扩范围可小些,而平地则应相应加大,保证图廓或区域边缘三角网的正常构建能够完全覆盖内插 DEM 的范围。

6.1.1.6 构 TIN

a 构 TIN 前先利用软件对地形信息数据进行预处理:

- 检查有无隐藏的高程粗差;
- 对同一条等高线上采样间距过大的高程点列进行内插加密处理,避免出现三角形跨越等高线;

- 对山头或凹地无高程点的闭合等高线,狭长而坡缓的谷底,无高程点的垭口等处,由软件自动内插特征点或特征线,用于构 TIN,避免出现不合理的“平三角形”。

b 构 TIN,检查其合理性,并作优化处理:

- 将 TIN 三角网与等高线以不同颜色叠合显示作屏幕检查;
- 将“平三角形”区域用颜色普染显示;
- 对不合理的平三角形内部加高程点编辑,然后再重构 TIN;
- 对跨越中间等高线而构成的非等坡三角形进行检查与加点处理。

6.1.1.7 内插 DEM 与 DEM 编辑

a 输入格网间距。

b 内插 DEM。

c 用内插的 DEM 反生成等高线,使之与原始等高线按不同色叠合显示。

d 检查同名等高线的偏离值,对超出限差的区域进行 DEM 的点编辑与面编辑。

注:应将此视为全面检查 DEM 与原始等高线高程是否保持一致、有无粗差的主要检测手段。

6.1.1.8 DEM 的裁切与接边

a 按 DEM 上交成果范围进行裁切。

b 与邻图 DEM 接边

- 1) 单幅图的 DEM
 - 按本图幅只负责与西、北及西北向的三幅邻图接边的规则进行;
 - 对相邻图幅 DEM 重叠区内同名格网点高程误差进行统计分析, 保留接边报告数据, 对于大于 2 倍中误差的点需一一查明原因进行处理, 不可简单取均值;
 - 相邻图幅采用不同等高距时, 其允许的接边误差以大等高距计算;
 - 在限差范围内的格网点上, 取两个 (或三个) 同名点高程的平均值作为该点高程。
- 2) 区域性 DEM
 - 区域范围内部图幅之间的 DEM 无需接边;
 - 区域与区域之间的图幅仍按以上 1) 之要求进行接边。
- 6.1.1.9 文本文件制作
 - a 采用相应软件, 按 GH/T 1007-2001 要求的内容逐项录入。
 - b 采用相应软件, 按 GB/T17798 中所规定的“格网数据交换格式”制作 DEM 文件头。
- 6.1.2 质量控制

每个工序完成后都必须由检查员检查、记录并签名。

- 6.1.2.1 预处理
 - a 图层控制模板设置无误。
 - b 扫描用的原图平整, 无缺陷。
 - c 预处理图处理恰当。
- 6.1.2.2 地图扫描
 - a 扫描范围覆盖全图。
 - b 内图廓点、公里网点影像清晰。
 - c 地形图图像清晰, 颜色偏差小, 断线少, 粘连少, 无扫描带错位, 无漏洞。
- 6.1.2.3 定向与几何校正

保存定向报告数据文件, 查看点位中误差与坐标残差是否超限。
- 6.1.2.4 矢量化
 - a 要素分层、代码正确。
 - b 要素 (特别是等高线、高程点) 无漏采或重采。
 - c 高程赋值正确, 无遗漏。
 - d 要素数字化位置相对于 DRG 偏离不大于 1.5 个像素 (约地面 1m)。
 - e 具体操作:
 - 屏幕检查, 矢、栅数据叠合检查错漏移位; 通过符号化或色彩设置检查分层与代码;
 - 必要时输出一张矢量化的回放图, 对数据进行综合检查。
- 6.1.2.5 数据接边

图幅间位置与属性接边无差错。
- 6.1.2.6 构 TIN
 - a 确保所构 TIN 的每个三角形内部地形满足同向等坡的特征。
 - b 无不合理的“平三角形”。
- 6.1.2.7 内插 DEM 与 DEM 编辑
 - a DEM 高程与等高线、高程点、水涯线高程在容差 1/2 等高距的范围内完全保持一致。
 - b 静止水域范围内的 DEM 高程一致, 双线河内的 DEM 高程应自上而下平缓过渡,

无矛盾，无噪声。

c 如需要，也可利用 DEM 制作黑白或彩色晕渲图或三维透视图等手段检查有无大粗差出现及水域高程的合理性。

6.1.2.8 DEM 的裁切与接边

a 裁切范围符合产品规定，左上角起始格网点坐标与头文件中记录的坐标保持一致（即同一个点）。

b 接边后，相邻图幅 DEM 同名格网点的高程必须一致。

6.1.2.9 文本文件制作

a 数据项数齐全。

b 数据项中，必选项的内容不得空缺。

c 数据项中的内容填写正确。

6.2 数字摄影测量法

6.2.1 作业方法

6.2.1.1 影像扫描

a 扫描参数的设置

— 按技术设计分析，确定扫描分辨率；

— 测定影像灰度并作线性变换调整，使整幅影像灰度直方图基本呈正态分布。同一航线或整个摄区如影像色调基本一致，可采用首、尾片及中间一片进行测试，如果结果相近，则取中数作为统一的扫描参数使用。否则应分区、分段甚至分片调整其灰度直方图。

b 确定扫描范围

在保证全部框标影像齐全的前提下，缩小扫描范围，减少影像数据量。

6.2.1.2 建立有关的参数文件

a 建立空三加密成果数据文件：

1) 像控点坐标文件（亦可由全野外测量提供），供按传统方法建立立体模型（内定向、相对定向）后的绝对定向使用。

— 该文件为 ASCII 码文件，一点一行，依序排列：

点号 X 坐标（北向） Y 坐标（东向） Z（高程）

— 单位为 m，取至小数两位；

— 控制点点号必须唯一，不能重号；

2) 像片定向参数文件

当采用光束法区域网平差，则可获得每张像片精确的 6 个外方位元素及其空间坐标变换的 9 个旋转矩阵参数。

3) 文件命名根据所采用软件的要求设定。

b 建立相机参数文件，供像片内定向用。

1) 内容包括：焦距，框标坐标，像主点与自准直点坐标，径向畸变差等；

2) 根据像片上仪表位置与坐标系略图，按框标位置与编号输入框标坐标值以及其它各项参数；

对于未经严格检测的相机参数，如只有框标距而无框标坐标，则只能采用近似的方法反求框标点坐标处理。

- 3) 文件命名根据所采用软件的要求设定。
- c 建立检测点坐标文件，供质检部门最终检测 DEM 高程精度使用。
 - 文件的内容、数据格式与像控点坐标文件相同；
 - 该数据文件作为“保密点”信息单独记盘交质检部门暂存。
 - d 建立项目参数文件（可选，根据软件需要）
 - 参数内容：航摄比例尺，成图比例尺，等高距，DEM 格网间距，正射影像地面分辨率等；
 - 各类文件的文件名和实际路径，如控制点坐标文件，相机文件，作业区文件等。
 - e 模型参数文件（可选，根据软件需要）
 - 每一模型建立一个模型参数文件。

6.2.1.3 定向建模

- a 内定向
 - 自动搜寻 4 个框标，使影像放大并切准框标点位上；
 - 自动量测计算；
 - 检查定向精度，若不满意可人工精确对准重测框标点位，重新定向计算直至达到要求。
- b 建模有二种方式：
 - 1) 相对定向、绝对定向方式。
 - 自动相对定向。自动寻找匹配准点，一般单模型内不少于 50 点，且均匀分布；
 - 根据需要，在一些困难区域（如水域等缺乏纹理的地方）以及局部配准失真处的附近，人工加测一些相对定向点；
 - 相对定向计算完成后，查看中误差。如必要可进一步分析误差分布规律，采取修测加测措施，直至满足要求。
 - 人机交互绝对定向。先选取易于辨认的两个像控点精确照准后作概略绝对定向，计算机将自动引导到其余点位，依次量测，完成绝对定向。检查定向点坐标残差，若超限则进行单点或全部重测，直至符合限差规定。

2) 自动建模方式。

内定向后，自动导入像片定向参数完成建模。立体检查模型内上下视差及像控点平面高程是否在限差范围之内，如超出则作适当微调。

6.2.1.4 核线影像重采样

- a 由软件自动进行。对于不同软件，核线重采样可在相对定向后亦可在绝对定向后进行。
- b 重采样方法采用双线性内插或双三次卷积内插，分辨率保持不变。
- c 为减少数据量，一般只在立体模型范围内重采样，具体控制在四个像控点连线外扩 10mm（像片上）的范围之内。

6.2.1.5 量测特征点、线

- a 量测特征点、线（分层赋代码），用于提高影像自动立体配准的精度。
 - 水系：河流、湖泊、水库、海岸线等（如已进行过数字线划地图 DLG 量测，则可直接引用）；
 - 特征点：山顶、凹地、鞍部等；

— 特征线：主要的山脊线、沟谷线、断裂线、变坡线等。

b 量测高程推测区范围（分层赋代码）

— 喀斯特地貌区，移动沙丘区；

— 无法准确量测高程的其它区域。

c 量测高程空白区范围（如果有，分层赋代码）

— 航摄漏洞，云块阴影覆盖区；

— 其它无法量测高程的区域。

d 量测高程检查点（如无其它检测手段），用于 DEM 精度检测，其数据单独记盘交质检部门暂管。

— 点位（平面兼顾高程）均匀分布；

— 点数由技术设计书具体提出。

6.2.1.6 自动影像匹配，生成像方格网立体高程模型

a 等视差曲线方式

1) 在相对定向形成的影像匹配控制点以及人工增补的地形控制点基础上，自动进行左右影像立体配准，并形成等视差曲线。

2) 人工立体观测检查匹配点与等视差曲线是否都切准地面立体模型，否则应进行像方立体编辑，包括重新定向与匹配、点编辑、面编辑等方法。对于面编辑应先将区域边界用封闭多边形标定，再修正其高程，如面状水域可将其强制压平，房屋密集区、森林植被覆盖区使高程整体升降，最终将等视差曲线修正到地面。

b 大、中格网递进加密方式

1) 借助特征点、线自动匹配生成像方大格网 DEM，并在智能步进扫描大格网的同时，人工监视各个格网点是否切准地面，根据需要随时人机交互进行点编辑。

2) 在此基础上生成像方中格网 DEM，并采用分块方式逐块对竖状排列的中格网点高程进行点编辑，使每点高程都贴近地表。

6.2.1.7 内插物方 DEM

a 在像方格网 DEM 基础上，采用双线性内插或构 TIN 内插方式生成地面（物方）标准格网间距的 DEM。

b 单模型物方 DEM 范围：像控点连线外扩 100m。

c 根据需要，可通过“四体漫游”检查 DEM 与模型的吻合情况，特别是沟谷等断裂线附近的点，如不符则应进行编辑（物方或像方）。亦可通过生成左右片数字正射影像，配成零立体影像进行 DEM 粗差检测。

6.2.1.8 图幅内的单模型 DEM 拼接

a 在 DEM 拼接环境下将图幅内的所有 DEM 模型进行拼接，检查覆盖范围，有无漏洞。如有，则应对所缺的 DEM 格网点进行精确定位（X，Y 坐标），然后设法补测。

b 对单模型 DEM 重叠区内同名格网点的高程较差进行统计分析，大于 3 倍高程中误差的点视为粗差，分析原因，上模型重测。合乎限差要求后，取两边中数作为重叠区内各个格网点的高程。

6.2.1.9 图幅 DEM 裁切

a. 按 DEM 上交成果范围进行裁切。

b. 由于相邻图幅边的 DEM 通常是由同一单模型 DEM 裁切而得，故在同一区域网空三平差范围内一般不存在图幅 DEM 接边的问题。

6.2.1.10 文本文件制作

同 6.1.1.9。

6.2.2 质量控制

每个工序完成后都必须由检查员检查、记录并签名。

6.2.2.1 影像扫描

- a 影像清晰，层次丰富，反差适中。
- b 框标完整清晰。

6.2.2.2 建立有关的参数文件

所有文件参数均应与原始数据核对，保证正确，其中特别是相机参数中的坐标系与飞行方向，问题比较隐蔽，应认真核查，谨防出错。

6.2.2.3 定向建模

- a 内定向精度在限差之内。
- b 建模后，模型内影像上下视差以及像控点的坐标与高程符合在限差要求。

6.2.2.4 量测特征点、线

- a 主要特征点、线选择恰当。
- b 高程检查点精度可靠。

6.2.2.5 自动影像匹配，生成像方格网立体高程模型

- a 确保匹配点与等视差曲线立体切准地面。
- b 保证像方格网 DEM 切准地面。

6.2.2.6 内插物方 DEM

保证内插后的物方格网 DEM 切准地面，误差控制在两倍中误差范围内。

6.2.2.7 图幅内的单模型 DEM 拼接

- a 单模型 DEM 接边高程中误差符合规定要求，其中 2~3 倍高程中误差内的点数不超过总点数 4%。
- b 正常情况下图幅内 DEM 不得出现漏洞。

6.2.2.8 图幅 DEM 裁切

同 6.1.2.8。

6.2.2.9 文本文件制作

同 6.1.2.9。

7 数据文件管理

7.1 文件命名

参照 CH/T 1005-2000 有关规定执行。

7.2 文件管理

一个工程项目的数据文件应在局域网服务器上集中统一管理，包括：数据源，重要的中间成果，最终产品以及大量的过程文件等。具体实施可根据各自具体情况决定，以数据安全和标示清楚、存取方便为原则，在“技术设计书”中明确规定。

8 产品归档

8.1 归档登记

对数据产品及有关文档资料根据《测绘成果管理规定》要求，认真清理，按表格规定内

容逐项登记，形成产品清单，检查无误后正式归档。

8.2 归档资料

a 数据文件(见表 4)

表 4

内容	介质	备注
DEM 数据	磁带\光盘	
地形信息数据	磁带\光盘	可选
推测区数据	磁带\光盘	可选
辅助高程数据	磁带\光盘	可选
地形图 DRG 数据	磁带\光盘	可选
影像数据	磁带\光盘	可选
元数据	磁带\光盘	

b 图文件（可选）

- 1) 印刷地形图
- 2) 预处理图

c 文档文件

- 1) 上交成果清单
- 2) 技术设计书，技术总结
- 3) 文档簿
- 4) 验收报告

8.3 产品包装

对于数字产品的记录介质（包括光盘、磁盘或磁带等）都需进行内包装与外包装，包装内容参照 CH/T 1008-2001 相关规定执行。

附录二：1:10000 数字高程模型(DEM)产品检测与评价

Product inspection and assessment for 1:10000 digital elevation models(DEM)

9 范围

本规定规定了 1:10000 数字高程模型（DEM）数字产品的检测方法和质量评价的要求。

本规定适用于我国基础地理信息更新与建库中 1:10000 数字高程模型（DEM）数字产品的检测和评价。

10 引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本规定中引用而构成本规定的条文。在本规定出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本规定的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T xxxx-xxxx 数字测绘产品检查验收规定和质量评定标准

CH/T 1008-2001 基础地理信息数字产品 1:10000 1:50000 数字高程模型

CH/T 1005-2000 基础地理信息数字产品数据文件命名规则

附录二 1:10000 数字高程模型生产技术规定

11 检测内容和方法

3.43 数字高程模型产品质量元素（见表 1）

1:10000 数字高程模型产品的质量主要是通过表 1 规定的质量元素来评价：

表 1 数字高程模型产品质量元素

一级质量元素	二级质量元素
基本要求	上交资料的完整性 数据命名和数据格式
数据精度	格网间距 数学基础 高程精度 接边精度 属性精度（地形图扫描矢量化法） 要素的完整性（地形图扫描矢量化法） 逻辑一致性和完备性（地形图扫描矢量化法）
附件质量	元数据的正确性、完整性 文档资料的正确性、完整性 特征点、线成果质量（数字摄影测量法附带产品，可选）

3.44 提交检测的资料

提交检测的成果资料应包括：

数字高程模型数据文件（基于地形图扫描矢量化法的 DEM 生产时应提交矢量数据）；

特征点（线）矢量文件（根据需要提交）；

元数据文件；

保密的检测点文件；

文档簿、技术设计书、质量检查报告、技术总结和有关文档。

3.45 检测内容和方法

3.3.1 文件命名及数据格式的检查

3.3.1.1 数据文件的命名、数据记录的格式要符合 CH/T1005-2000 的具体要求。

3.3.1.2 在文档簿、质量检查报告和技术总结中，要明确该成果中存在推测区的范围说明及估计精度。

3.3.2 数学基础检查

3.3.2.1 数字摄影测量法生产的 DEM，应检查格网间距、DEM 范围即起止点坐标的正确性，缺少高程数据及明显高程异常。

3.3.2.2 地形图扫描矢量化法内插 DEM，除了按 3.3.1.1 检查外，首先还应采用编制的软件自动或人工检查矢量数据的图廓点坐标、将矢量数据与纠正后地图扫描数据叠加显示矢量采集精度。

3.3.3 高程精度检查：

检查高程精度是否符合产品标准 CH/T 1008-2001 的要求；

3.3.3.1 数字摄影测量法高程精度的检测包括对同名格网点高程精度的检测和对高程模型内插点的高程精度检测，可用以下方法进行检测：

a. 野外散点法

野外散点法是用野外测量方法实地测量散点的坐标，用已建立的数字高程模型内插出检查点位置上的高程，将它们与对应的实测高程点比较，得到一组点的高程较差 Δh_i ($i=1,2,3,\dots,n$)。检测点数量视具体情况而定，一般每幅图上选取 6~8 个点，并要求均匀分布。

野外散点法较适用于平缓地区的数字高程模型的高程精度检测。

b. 室内加密桩点法

室内加密桩点法是在空三加密的过程中同时获取一组检查点，用已建立的数字高程模型内插出检查点位置上的高程，将它们与对应的加密高程点比较，得到一组点的高程较差 Δh_i ($i=1,2,3,\dots,n$)。检测点数量视具体情况而定，一般每幅图上选取 6 至 8 个加密高程点，并要求均匀分布。

c. 数字摄影测量法

在数字摄影测量工作站或解析测图仪上，建立立体模型，用量测高程注记点的方法，测得一组检测点坐标值，与数字高程模型同一平面位置的格网点高程相比较，得到一组高程较差 Δh_i ($i=1,2,3,\dots,n$)。检测点数量视具体情况而定，一般不少于 28 个检测点，要求在图中均匀分布，四周可适当多分布几个点。

3.3.3.2 基于地形图扫描矢量化法可用下列步骤检测：

c. 分层设色显示 DEM 数据，并叠合矢量数据，用来检查 DEM 的错误及异常，或晕渲显示 DEM 数据，并叠合矢量数据，用来检查 DEM 的错误及异常。

d. 采用地形图原图对照矢量数据，采用人机交互式或用相应软件，检查高程点和等高

线的正确性，有无点线矛盾等。

e. 根据矢量数据对 DEM 数据进行高程检查及内插精度检查，即可利用检测软件检测 DEM 格网点与矢量数据点的高程误差，检测点、线、添加点高程值、水体高程值是否合理并在规定的限差范围内。

f. 用生产单位单独提交的保密点检测。要求在每幅图上，沿等高线选择至少 28 个高程检测点，其中图边附近各 2 点，其余点在图内均匀分布。该数据文件单独数字化后，交质量控制部门保存。

3.3.3 接边精度的检查

用相关软件重点检测块与块之间（同时统一构 TIN 来生产 DEM 的多幅图的集合）DEM 的接边误差是否在限差范围以内。

3.3.4 附件质量检查

3.3.4.1 元数据文件:逐项检查元数据的内容是否正确、完整。

3.3.4.2 文档资料:检查文档资料填写是否正确、完整。

3.3.4.3 特征点（线）文件检查内容包括分类代码、属性精度等。

12 质量评价

4.1 缺陷分类

单位产品的缺陷分为严重缺陷、重缺陷、轻缺陷。缺陷分类见表 2。

表 2 数字高程模型产品缺陷分类

	严重缺陷	重缺陷	轻缺陷
基本要求	a.图名或图号错 b.数据格式不正确	a. 数据文件不全，造成无法使用	a.不属于前两类缺陷的其它缺陷。
数据精度	a.DEM 坐标系错 b.DEM 裁切范围小于规定要求 c.DEM 格网间距大于规定要求 d.DEM 有效范围缺数据（大于等于 20 个像元） e.DEM 接边范围出现漏洞 f.DEM 粗差（错误大于 $3\Delta h$ ） g.DEM 格网点高程中误差超限	a.DEM 接边误差超限 b.DEM 有效范围缺数据（大于 5 个像元，小于 20 个像元） c.DEM 粗差（错误大于 Δh 小于 $3\Delta h$ ）	a.不属于前两类缺陷的其它问题
附件质量		a.缺文档簿、元数据等文档 b.元数据项数不符合规定要求 c.元数据中高程系错 d.元数据或文档簿中大地坐标系错 e.元数据或文档簿中图廓经纬度错 f.元数据或文档簿中图号错 g.元数据项排列顺序错	a.不属于前两类缺陷的其它问题

4.2 质量评价

产品质量评定按照《GB/T ××××-××××数字测绘产品检查验收规定和质量评定标准》执行。

附录三：1:10000 数字正射影像（DOM）生产技术规定

Technical specifications for producing 1:10000 digital orthophotos map

13 范围

本规定规定了基于航空影像的 1: 10000 数字正射影像图（DOM）的采集制作技术、生产工艺流程、作业规程及其质量控制要求。

本规定适用于基础地理信息数据中 1:10000 数字正射影像的采集与建库，其它以正射影像为基础的复合地图产品的制作或是基于其它影像类型制作 DOM，亦可参照其有关部分执行。

14 引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本规定中引用而构成为本规定的条文。在本规定出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本规定的各方应探讨使用下列标准的最新版本的可能性。

GB/T 13989-1992	国家基本比例尺地形图分幅和编号
GB/T 17798-1999	地球空间数据交换格式
GB15968-1995	遥感影像平面图制作规范
CH/T 1005-2000	基础地理信息数字产品数据文件命名规则
CH/T 1009-2001	基础地理信息数字产品 1:10000、1:50000 数字正射影像图
CH/T 1008-2001	基础地理信息数字产品 1:10000、1:50000 数字高程模型
CH/T 1007-2001	基础地理信息数字产品元数据

15 术语

3.46 重采样：依次将 A 格网的每一个单元映射到 B 格网上，同时采用内插和外推的方法，由 B 格网上相关单元的属性值计算得 A 格网该单元属性值的一种技术方法。常用的有最邻近点法、双线性内插法和双三次卷积法。

3.47 最邻近法：按最邻近一个点的属性数据赋予重采样点属性值的一种数学计算方法。

3.48 双线性内插：利用周边最邻近的 4 个点，按两个方向线性内插，求重采样点属性值的一种数学计算方法。

3.49 双三次卷积：利用周边最邻近的 9 个点按三次多项式方程内插，求重采样点属性值的一种数学计算方法。

3.50 摄影测量空间后交：根据地面控制点确定一张航摄像片在大地坐标系中方位，即 6 个外方位元素（ X_s , Y_s , Z_s , ϕ , ω , κ ）的一种技术方法。

16 资料准备

4.1 准备

制作正射影像所需的数据包括：

- g. 航摄影片/复制片或其它遥感器获得的栅格影像数据；
- h. 与影像同区域的数字高程模型（DEM）；
- i. 由野外测量、空中三角测量加密或大比例尺地形图上获取的控制点资料（包括控制点位，坐标成果，分布略图）；
- j. 航摄影鉴定表，航摄影验收报告。

4.2 图件

- k. 比例尺相同或相近的新版地形图；
- l. 测区航摄影略图（含航线分布，像主点位置）等。

4.3 资料分析

m. 航摄影资料质量

1) 影像质量

- 航摄影底片密度测定记录、底片压平测试数据记录；
- 有无影像缺陷，如云层覆盖、投影像差导致的影像死区，框标是否清晰完整等。

2) 飞行质量及其参数

飞行方向，航偏角，航线弯曲，像片倾斜角，航向、旁向重叠，航摄影比例尺、航高。

3) 摄影时间等。

n. 如已有 DEM 数据，则应分析其格网间距与高程精度是否能满足 DOM 的平面精度要求。

o. 对控制点的来源及其精度进行分析（全野外、GPS、区域网空三加密、二次加密点、1:10000 地形图上采点等），精度能否满足 DOM 制作的要求。

一般情况下，控制点应采用 GPS 或空三获取。

p. 航摄影参数是否完整，包括：

- 框标坐标，象主点坐标、自准直点坐标（含坐标系与框标点号分布）
- 检定主距
- 径向畸变差等

17 生产流程与技术要求

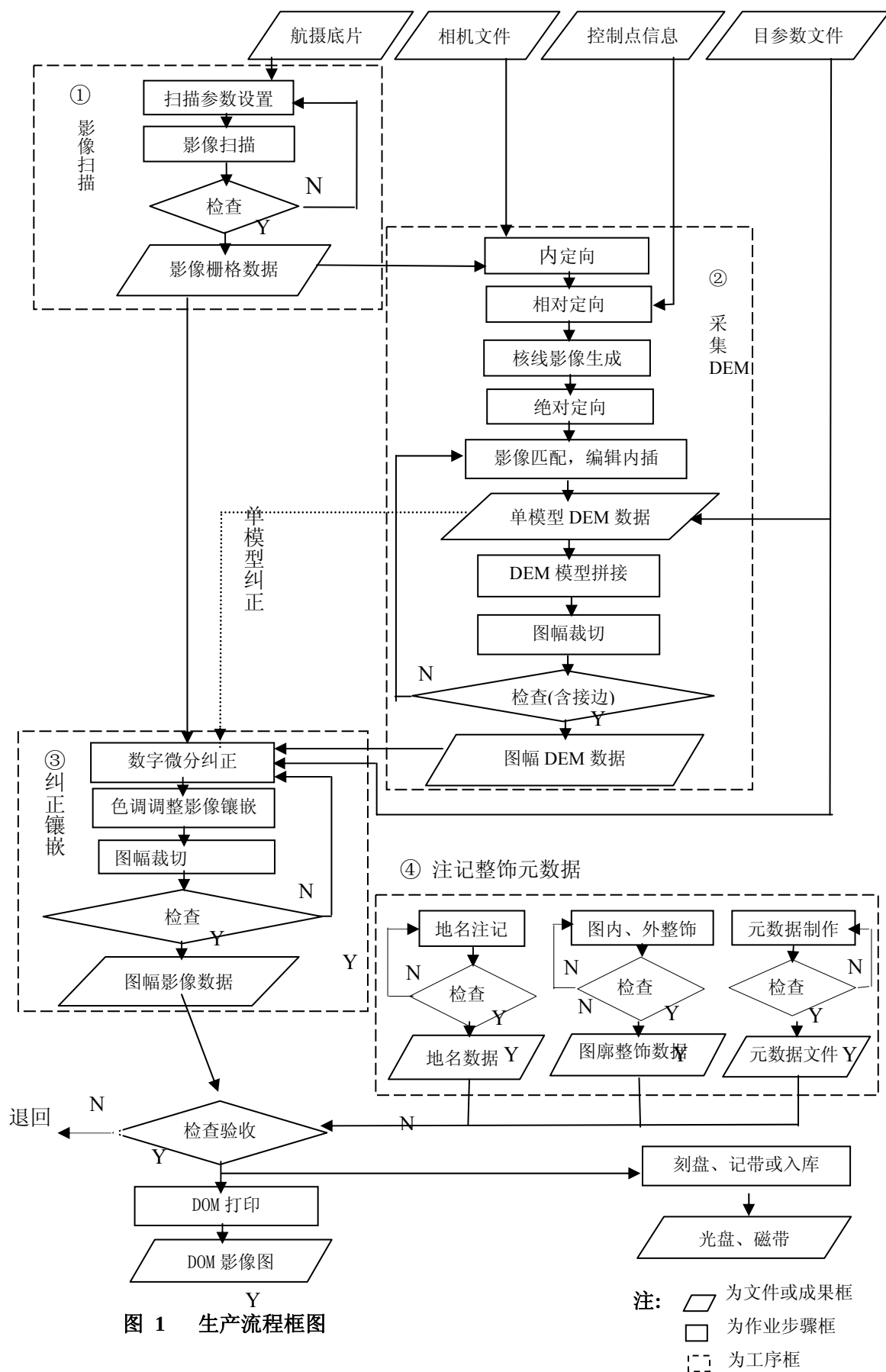
DOM 的产品模式及技术指标按 CH/T 1009-2001 规定的要求执行。

DOM 的生产目前主要采用二种方法：

- q. 数字摄影测量法：建立立体模型采集 DEM，继而进行数字影像微分纠正。
- r. 单片数字微分纠正法：利用已有的 DEM，进行单片数字影像微分纠正。

5.1 数字摄影测量法

5.1.1 生产流程框图（见图 1）



5.1.2 技术要求

5.1.2.1 影像扫描

a. 扫描几何分辨率 R 的选择

一般考虑以下因素：

1) 用户要求 DOM 产品的地面分辨率 R_0

— 根据 R_0 则可推算相应像片上的影像分辨率 $R_0' = R_0 \frac{1}{m_{\text{像}}}$, 设 R_0 为 1m, 像片比例尺 $= \frac{1}{35000}$, 则 $R_0' = 28.5 \mu\text{m}$

— 扫描分辨率 R 选择时需顾及重采样的影响, 应略小于 R_0' 值, 如上例可选择 $25 \mu\text{m}$ 。特殊情况下, 重采样前后像元尺寸之比不应大于 1.28 倍。

2) 航摄影像 (底片) 的实际分辨率 R''

一般认为, 静态下航摄影像的分辨率 R' 取决于胶片分辨率 R_1 与航摄仪镜头的光学分辨率 R_2 , 大致在 60~90LP/mm。

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

而在动态 (即飞行状态) 没有像移补偿装置的情况下, 航摄影像的实际分辨率 R'' 大约只有 25 lp/mm, 在 $20 \sim 25 \mu\text{m}$ 之间, 而彩红外或天然彩航片约为 $30 \sim 35 \mu\text{m}$ 。

扫描分辨率的上限宜采用航片实际分辨率的 1/2 进行估算, 即黑白航片约为 $12 \mu\text{m}$, 彩色航片约为 $18 \mu\text{m}$ 。

b) 扫描参数的调整

原则上要使扫描影像的灰度直方图调整在 0~255 间并接近正态分布。

c) 影像质量

要求像幅范围内影像清晰, 层次丰富, 所有框标清晰。

5.1.2.2 采集 DEM

a) 定向精度要求 (见表 1)

表 1 定向精度要求

地类 \ 限差	内定向 (mm)	相对定向 (mm)	绝对定向 (m)	
			平面	高程
平地	0.01	0.015 (0.02*)	2 (3*)	0.3
丘陵地			2 (3*)	0.75
山地			3 (4*)	1.5
高山地			3 (4*)	2.25
注：1、括号内 * 为允许个别点出现的残差值。 2、相对定向点数量一般不少于 50 点，且基本均匀分布。				

b. DEM 的精度要求

1) 如所采集的 DEM 数据作为 DEM 正式成果上交, 则 DEM 的格网间距、格网点高程精度必须符合 CH/T1008-2001 的有关规定。

2) 如所采集的 DEM 仅供影像微分纠正使用, 则高程精度 (中误差) 可放宽一倍。

c. DEM 的拼接

单模型 DEM 之间进行拼接,应具有一定宽度的重叠带,一般以控制点连线为中线,带宽不小于 2 个格网(3 排点)。

同名点高程较差不得超过一个等高距。

5.1.2.3 纠正镶嵌

a. 微分纠正

1) 首先,对 DEM 格网(例如 $12.5\text{m} \times 12.5\text{m}$)按像元地面分辨率($1\text{m} \times 1\text{m}$)的大小进行分割,形成 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 的格网,用该 DEM 格网的四角高程对 1m 格网每一个点的高程进行双线性内插。

2) 依次将每个像元的地面坐标(X, Y, Z)按空间直线方程投影到像片上,求得其像点坐标(x, y)。

3) 根据该像点坐标寻求其周边有关的扫描像片像元,进行灰度内插(重采样)。

4) 重采样方法的选择:

— 最邻近点法:方法最简单,但将造成像点在一个像元范围内的位移,精度较差,一般情况下不采用。

— 双线性内插法:算法较简单,且具有较高的灰度内插精度,是实践中常用的方法。

— 双三次卷积内插法:算法较复杂,内插精度好,当重采样前后像元地面分辨率之比达 1:2 以上(抽稀)时,采用本法才能取得较好的效果。

b. 色调调整与影像镶嵌

1) 镶嵌前应保证片与片之间、图幅与图幅之间的影像色调基本一致。特别是彩色影像(包括真彩色、彩红外等)必须根据需要进行局部色彩纠偏,以保持整体色彩效果的统一。

2) 相邻模型影像的镶嵌,应注意拼接线的选择:

— 一般以控制点连线为拼接线;

— 为避免地物影像分割(如高大建筑物)失去完整性,以控制点连线为中心线的 1cm 范围内选择拼接线;

— 影像镶嵌后不能造成影像重影。

c. 图幅裁切

按 GB/T 13989 的分幅规则确定图幅四个图廓点坐标;图廓点外接坐标格网矩形外扩 100m 即为图幅裁切范围。

1:10000 数字正射影像图的左上角坐标 $X_{\max}$ 、 $Y_{\min}$ 、右下角坐标 $X_{\min}$ 、 $Y_{\max}$ 计算公式如下:

$$X_{\text{止}} = X_{\min} = \text{INT}[\min(x_1, x_2, x_3, x_4)] - 100$$

$$Y_{\text{起}} = Y_{\min} = \text{INT}[\min(y_1, y_2, y_3, y_4)] - 100$$

$$X_{\text{起}} = X_{\max} = \text{INT}[\max(x_1, x_2, x_3, x_4) + 1] + 100$$

$$Y_{\text{止}} = Y_{\max} = \text{INT}[\max(y_1, y_2, y_3, y_4) + 1] + 100$$

式中:

x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 、 y_1 、 y_2 、 y_3 、 y_4 为四个图廓点坐标,

$X_{\max}$ 、 $Y_{\min}$ 为 DOM 起始点坐标,

$X_{\min}$ 、 $Y_{\max}$ 为 DOM 终止点坐标。

公式中以米为单位。

DOM 二维点阵不记录平面坐标，只记录每个像元的灰度值，存贮顺序为由西向东，从北到南。按 GB/T17798-1999 保存图幅 DOM 影像数据的附加信息文件，其内容增加影像的行数和列数。

5.1.2.4 其它数据

a. 地名注记

参照 15968-1995 的要求以矢量方式生成独立的地名数据层。

b. 图内外整饰

参照 GB15968，以矢量方式形成独立的图廓整饰数据层。

c. 元数据

以文本方式，应符合 CH/T1007-2001 标准的内容与格式。

5.2 单片微分纠正法

5.2.1 生产流程框图（见图 2）

5.2.2 技术要求

5.2.2.1 影像扫描

同 5.1.2.1

5.2.2.2 纠正镶嵌

a. 内定向

坐标残差应小于 0.01mm。

b. 空间后交

平高控制点一般采用 7~9 点，最少不少于 4 点，空间后交（绝对定向）后控制点坐标允许残差参照表 1 规定执行。

c. 微分纠正

同 5.1.2.3a。

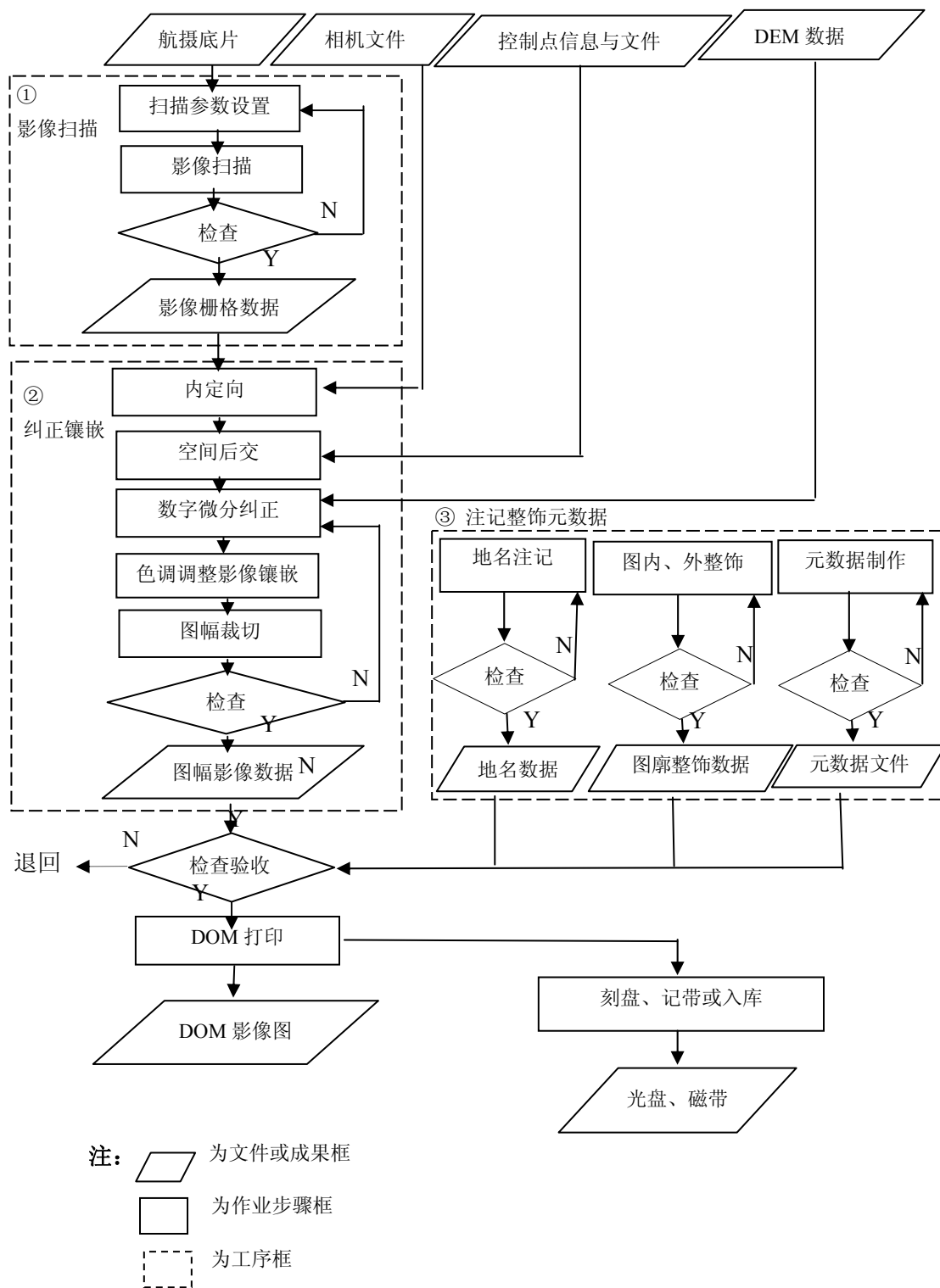


图 2 生产流程框图

d. 色调调整和影像镶嵌

同 5.1.2.3b)

e. 图幅裁切

同 5.1.2.3c)

5.2.2.3 其它数据

同 5.1.2.4

6 作业规程

6.1 数字摄影测量法

6.1.1 影像扫描

6.1.1.1 作业方法

a. 扫描参数的设置与调整

扫描参数主要包括：扫描分辨率与灰度直方图。

— 按设计分析选择，设置扫描分辨率

— 灰度直方图的调整，根据扫描仪型号的不同而有所区别

一般方法是：选择一片之中代表低密度与高密度的两个样区，将影像灰度在 0~255 之间进行线性变换（单段或多段），使其灰度直方图基本呈正态分布。随机抽样检测，控制灰度值为 0 和 255 处的像素数一般不大于 10。反复调试二、三次基本可满足要求。

参数调好后，采用较低分辨率快速扫描一遍，检验其结果是否达到要求。

同一航线或整个摄区如果影像色调基本一致，可采用首片、尾片及中间一片进行测试，如果相近取中数作为共同的扫描参数使用。否则应分区、分段甚至分片调整其灰度直方图。

b. 扫描范围

在保证全部框标影像完整清晰的前提下，控制其扫描范围，减少影像数据量。

c. 对扫描的原始影像数据一般不进行人工预处理，必要时，可对框标影像等进行适当增强等处理。

6.1.1.2 质量控制

a. 影像清晰，层次丰富，反差适中

b. 框标完整清晰

6.1.2 采集 DEM

6.1.2.1 作业方法

a. 建立有关的参数文件，包括：

1) 控制点文件

— 一般以区域网加密的范围建立公用的控制点文件。包括该区域内的外业控制点和内业加密点。

— 控制点文件为 ASCII 码文本文件，一点一行，依序排列为：

“点号 X 坐标 Y 坐标 Z 坐标 备注”

— 采用大地坐标系，即+X 轴指北，+Y 轴指东。如加密采用摄影测量坐标系，则应通过软件对调。

- 控制点点号必须唯一，不能重号。
- 控制点点号根据软件要求设置。
- 控制点文件命名根据软件要求设定。
- 2) 航摄仪参数文件
 - 内容包括：焦距，框标坐标，主点与自准直点坐标，径向畸变差等。
 - 根据框标位置与编号，仪表位置以及坐标系略图，正确输入各项坐标值。
 - 航摄仪参数文件命名根据软件要求设定。
- 3) 项目参数文件（可选，根据软件需要）
 - 参数内容：航摄比例尺，成图比例尺，等高距，DEM 格网间距，正射影像像元地面尺寸等。
 - 各类文件的文件名和实际路径，如控制点文件，航摄仪参数文件，作业区文件等。
 - 文件命名为“测区号·PJT”。
- 4) 模型参数文件（可选，根据软件需要）
 - 每个模型建立一个模型参数文件。
 - 文件命名为“左片号右片号·MOD”。
- b. 定向。包括内定向、相对定向与绝对定向
 - 1) 内定向
 - 自动搜寻 4 个框标，并使之同时显示屏幕上，便于查看修测（有的需人工引导①、②两个框标），自动内定向。
 - 定向精度不符合要求时，可以选择对可疑点进行重测，直至达到精度要求。
 - 2) 相对定向
 - 自动寻找匹配点，一般不少于 50 点，并在模型中大致均匀分布。
 - 根据需要，在一些困难区域（如水域、山区阴影等）以及局部匹配模型失真的地方，人工加测一些相对定向点。
 - 相对定向计算完成后，如未达到精度要求，需进一步分析误差分布规律，采取修测、加测措施，直至达到精度要求。
 - 3) 打印定向报告
 - 所有定向通过后，打印定向报告，作业员签名，贴入“文档簿”。
- c. 核线影像重采样
 - 根据软件不同，核线重采样有的安排在相对定向完成后进行。
 - 重采样方法：双线性内插或双三次卷积内插，分辨率保持不变。
 - 为减少数据量，一般只在立体模型范围内重采样，具体控制在四个象控点连线外扩 10mm（像片上）的范围之内。
- d. 影像匹配，采集 DEM

不同软件采用不同的方法。以具有代表性的二种微机数字摄影测量工作站为例，分述如下：

 - 1) JX4A 作业步骤
 - 自动生成像方大格网（构架）DEM

在扫描步进大格网（四体漫游）自动进行影像匹配的同时，人工监视格网点是否切准地表，根据需要人机交互对 Z 操作。

— 自动生成像方中格网 DEM

在大格网 DEM 控制下，分块自动生成像方中格网 DEM，并交替以不同颜色连接 Y 方向上的 DEM 格网点，形成 DEM 断面立体模型，通过人机交互根据需要对中格网点 Z 进行点编辑，直至全部切准地面。

— 内插物方小格网 DEM（最终成果）

将像方中格网 DEM 点转换为物方坐标，并利用加测的一些必要的高程特征点、特征线，构建 TIN，内插物方 DEM。漫游检查，可直接进行格网高程物方编辑，亦可作出标志，回到像方编辑，再生成物方 DEM。直至所有物方 DEM 点切准地表。

2) VirtuoZo 作业步骤

— 对核线影像自动进行立体匹准，形成匹配点与等视差曲线。

— 对模型匹配效果进行人工检查，根据需要进行编辑（区域编辑、点编辑）处理，重点是：影像模糊区、阴影区、大面积水域、建筑密集区、森林复盖区以及山谷、山脊地形变换处等，直至等视差曲线和匹配点都切准地表立体模型。

— 将匹配点转换为物方坐标，再内插物方 DEM。

6.1.2.2 质量控制

a. 所有数据文件的内容，必须正确无误。

b. 定向精度（包括内定向、相对定向、绝对定向）必须符合规定要求。

c. 采集的 DEM 点必须在立体状态下切准地面模型，其偏差一般要求控制在两倍中误差范围之内。

d. DEM 编辑完成后，检查员应上机检查，并填写记录。

6.1.3 纠正镶嵌

6.1.3.1 作业方法

a. 数字微分纠正

— 根据单模型 DEM 及像片方位元素、影像分辨率，采用微分纠正软件进行影像重采样，生成单模型 DOM。

— 正射影像可根据需要（如色调、投影差等因素）选择由左片，或右片，或左右片三种方法之一生成。

b. 色调或色彩调整

— 影像镶嵌前，应检查相邻各片之间的色调偏差或彩色偏差，根据需要采用图像处理方法进行调整，使之基本趋于一致。

c. 镶嵌拼接

— 建立以图号命名的影像镶嵌文件，根据图廓坐标标出比图幅略大的镶嵌范围，并指定文件存取路径。

— 执行影像镶嵌命令（注：多数数字摄影测量工作站软件也同时执行单模型 DEM 拼接命令），自动拼成整幅图的 DOM（与 DEM）。

— 由于拼接的影像之间具有重叠带，软件将对重叠带内的影像进行平滑处理，但不应

以损失影像清晰度为代价。

d. 图幅数据裁切

- 由公式（1）计算出图幅数据范围；
- 生成影像数据的附加信息文件，包括定位点的栅格坐标与高斯平面坐标，影像地面分辨率，行数，列数，选用波段等参数。

6.1.3.2 质量控制

- a. 整幅图影像清晰，色调均衡一致，视觉效果良好。
- b. 模型拼接处接边限差是否符合要求，是否有模糊现象。
- c. 影像附加信息文件是否完整。

6.1.4 注记整饰、元数据

6.1.4.1 作业方法

a. 地名注记

- 以正射影像图为背景，建立大地坐标系，标示内图廓点。
- 可参照 1:10000 地形图以及其它地名资料，按照标准要求的注记密度以矢量方式定位并输入汉字，作为独立的地名数据层。
- 如可能，可直接利用 DLG 产品中的地名数据层，作适当的筛选编辑。
- 完成后进行屏幕目视检查。

b. 图内外整饰

通常由软件引导，人机交互填入注记信息，最后自动生成，必要时再作局部编辑。

c. 元数据

按元数据的标准内容，通过软件人机交互填入数据项制作元数据文件。

6.1.4.2 质量控制

- a. 地名的注记位置与名称正确无误，取舍恰当，无缺陷性遗漏。
- b. 图内外整饰正确无误，内容完备无误。
- c. 元数据内容正确无漏。

6.2 单片微分纠正方式

6.2.1 影像扫描

6.2.1.1 作业方法

同 6.1.1.1

6.2.1.2 质量控制

同 6.1.1.2

6.2.2 纠正镶嵌

6.2.2.1 作业方法

a. 建立图幅工作目录及相应的参数文件

根据公式（1）确定矩形范围，从测区 DEM 中裁切所需图幅的 DEM 数据文件，保证满足制作 DOM 的范围要求。

b. 内定向

参照 6.1.2.1b.1) 的内容执行。

- c. 空间后交
 - 根据像控点的点位依次量测其像片坐标，输入点号。
 - 根据控制点文件中的象控点大地坐标、内定向参数等进行空间后交，计算像片的外方位元素。
 - 检查象控点后交残差。若超限，分析并删除或重测有疑问的象控点坐标，重新计算直至符合精度要求。
 - d. 微分纠正
 - 以片为单位进行，其余同全数字摄影测量方法。
 - e. 色调或色彩调整，镶嵌拼接，图幅裁切
- 同 6.1.3.1 相关内容
- 6.2.2.2 质量控制
- 同 6.1.3.2
- 6.2.3 注记、整饰、元数据
- 6.2.3.1 作业方法
- 同 6.1.4.1
- 6.2.3.2 质量控制
- 同 6.1.4.2

7 数据文件管理

- 7.1 文件命名
- 参照 CH/T 1005-2000 有关规定执行。
- 7.2 文件管理
- 一个工程项目的数据文件应在局域网服务器上集中统一管理，包括：数据源、重要的中间成果、最终产品以及大量的过程文件等。具体实施可根据各自情况决定，以数据安全和标识清楚方便存取为原则，在“技术设计书”中明确规定。

8 产品归档

- 8.1 归档登记
- 对数据产品及有关文档资料根据《测绘成果管理规定》要求，按表格规定内容逐项登记，形成产品清单，检查无误后正式归档。
- 8.2 归档资料
- a. 数据文件(见表 2)
- 数据格式参照 GB/T 17798 执行。

表 2

内 容	介 质	备注
数字正射影像数据（层） 地名注记（层） 图廓整饰（层） 元数据文件	光盘或磁带等	可选

- b. 图件(见表 3)

表 3

内 容	介 质	备注
正射影像图	纸质 胶片	彩喷打印或印刷* 激光照排，分色挂网*

注：*为可选项，输出单色或印刷胶片由具体工程需要决定。

c. 文档资料(见表 4)

表 4

内 容	备注
上交成果清单 技术设计书 文档簿 测区图幅接合表 技术总结 验收报告	

8.3 产品包装

对于数字产品的记录介质（包括光盘、磁盘或磁带等）都需进行内包装与外包装，包装内容参照 CH/T 1009-2001 相关规定执行。

附录四： 1:10000 数字正射影像图(DOM)产品检测与评价

Product testing and assessment for 1:10000 digital orthophoto map(DOM)

18 范围

本规定规定了基于航空影像的数字正射影像图（DOM）产品的检测方法和质量评价要求。

本规定适用于基础地理信息更新与建库中 1:10000 航空影像的数字正射影像图的检测及质量评价。基于其它影像生产的 DOM 的检测及质量评价可参照本规定执行。

s. 引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本规定中引用而构成本规定的条文。本规定出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本规定的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB15968-1995	遥感影像平面图制作规范
GB/T 17798-1999	地球空间数据交换格式
GB/T 13977-1992	1:5000、1:10000 地形图航空摄影测量外业规范
GB/T 13990-1992	1:5000、1:10000 地形图航空摄影测量内业规范
GB/T XXXX-XXXX	数字测绘产品检查验收规定和质量评定标准
CH/T 1005-2000	基础地理信息数字产品数据文件命名规则
CH/T 1009-2001	基础地理信息数字产品 1:10000、1:50000 数字正射影像图
CH/T 1007-2001	基础地理信息数字产品元数据

t. 检测内容和方法

3.51 产品质量元素

1:10000 数字正射影像图产品的质量主要是通过表 1 规定的质量元素来评价的。

表 1 数字正射影像图产品质量元素

一级质量元素	二级质量元素
位置精度	平面精度 接边精度 数学基础的正确性
数据质量	文件命名的正确性、规范性 数据组织和数据格式的正确性、规范性 存储数据的介质和规格的正确性
影像质量	影像是否清晰，纹理是否清楚 影像亮度、反差是否适中 影像分辨率是否正确 影像镶嵌处是否有重影、模糊或纹理断裂等现象 影像是否存在噪声、云影等缺陷
注记与图幅整饰	注记文字的准确性与定位的正确性 图幅整饰的完整性与正确性
附件质量	文档簿的正确性、完整性 元数据文件的正确性、完整性

3.52 提交检测的资料

3.2.1 提供 1:10000 数字正射影像图成果数据，包括：

- u. 影像数据文件 (*.tif) 及其信息文件 (*.ifo);
- v. 元数据文件 (*.mat)。

3.2.2 文档簿、技术设计书、质量检查验收报告、技术总结。

3.2.3 对于单片微分纠正法制作数字正射影像图的方法，还应提供所用的 DRG 或加密成果、DEM 数据等。

凡资料不全者，承检单位有权拒绝检测。

3.53 检测的内容与方法

质量检查采用软件自动检查、人机交互检查、人工校对检查等方法。视具体检查内容，确定采用一种或多种方法。

3.3.1 文件命名及数据格式检查

检测文件命名是否符合 CH/T 1005-2000 的规定；检测数据格式是否符合 GB/T 17798 规定。

3.3.2 数学基础检查

影像分辨率、左上角（起点）坐标 X_{max} 、 Y_{min} 及影像行数（Row）、列数（Col）是否正确可通过数字正射影像图信息文件 (*.ifo) 中相关内容来检测。

影像分辨率的理论值、图幅范围由 CH/T 1009-2001 确定，围成 1:10000 数字正射影像图外接矩形的左上角坐标 X_{max} 、 Y_{min} 、右下角坐标 X_{min} 、 Y_{max} 计算公式参见 CH/T 1009-2001。

3.3.3 影像点位平面精度检测

3.3.3.1 检测点的选取：

- a. 数字正射影像图平面精度以及接边精度是通过在影像图上选取的一定数量的检测点，通过检测检测点的精度来度量整幅图的精度。
- b. 检测点由产品的检测单位自行抽取，也可由生产单位在加密控制点时生成加密保密点，供检查使用。
- c. 抽取的检测点应便于在实地野外检测或在比例尺较大一级的线划图、数字栅格图等上能明显判读的地物点。
- d. 每幅图的检测点数量视地形情况而定，一般不少于 20 点，且在图幅内尽量分布均匀，地形复杂地区，像黄土沟壑区、喀斯特地区等需多选点，地势平坦地区可适当减少检测点个数。

3.3.3.2 野外实地检测法

- a. 使用仪器设备:各种实用测量仪器。
- b. 外业实地检测的实施依照 GB/T13977-1992 中 6.5、6.6 有关控制点测量的规定执行，成果必须符合 GB/T13977 的相关规定。
- c. 将实测数据与在 1:10000 数字正射影像图读取的数据相比较，按（1）式统计计算中

误差:

$$M = \pm \sqrt{M_x^2 + M_y^2} \dots\dots\dots(1)$$

式中:

$$M_x = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X_i)^2}{n}}$$

$$M_y = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2}{n}}$$

其中:

X_i, Y_i —为检测点的实地测量坐标值;

x_i, y_i —为原图上相应点的坐标值;

M_x, M_y —分别为地物点在X、Y方向的点位中误差;

n — 为检测点个数;

M — 为数字正射影像图上地物点相对邻近野外控制点的中误差。

3.3.3.3 利用已有资料检测法

对于 1:10000 数字正射影像图, 可行的常用方法有以下两种形式:

a. 在 1:5000 或更大比例尺的线划图、数字栅格地图等上读取明显地物点的平面坐标, 与正射影像图上同名点的平面坐标值相比较, 按 (1) 式统计计算中误差。

b. 将 1:5000 数字栅格地图 (DRG) 或其他高精度数据做背景, 将 1:10000 数字正射影像图数据叠加在上面进行检查, 量取若干同名点之间的差值, 按 (2) 式统计计算中误差:

$$M = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta S)^2}{n}} \dots\dots\dots(2)$$

式中:

ΔS —为同名地物点间的位置差值;

N —为检测点的个数;

M —为数字正射影像图与栅格地图 (DRG) 等的套合误差。

若所用资料与 1:10000DOM 数据为同精度检测, 则点位中误差计算公式为:

$$M = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta S)^2}{2n}} \dots\dots\dots(3)$$

各字母代表意义与公式 (2) 相同。

3.3.3.4 解析法空中三角测量

利用解析法空中三角测量测出检测点的平面、高程坐标, 作为或然值, 求出每一点的误

差，按公式（1）统计计算点位中误差。利用解析法空中三角测量的作业依照 GB/T5791 执行，也可将作业时的加密成果作为检测依据。

3.3.4 接边检测

a. 接边处影像检测:用目视检测法看相邻数字正射影像图幅接边处影像的亮度、反差、色彩是否基本一致。

b. 接边精度的检测:取相邻两 DOM 影像图重叠区域处同名地物点作为检测点，分别量取两同名点的距离，或者是读取同名点的坐标，算出两点间的距离，检查同名点的较差是否符合限差。

3.3.5 影像质量检测

在 1:10000 状态下，目视检查影像是否清晰易读、反差是否适中、色调是否均匀一致、纹理是否清楚，对于彩色影像，目视检查影像色彩是否鲜明有真实感，影像上不能有因作业过程中的失误而造成的肉眼可见的重影。

影像上一般不能有因原始资料质量而造成的斑点，云层应少于图面面积的 5%，分散云块总和不超过 15%。经过镶嵌的影像，其镶嵌处色彩是否过渡自然，无明显的色彩变换。

在镶嵌处是否有因镶嵌引起的重影、模糊或断裂等现象。

3.3.6 整饰质量检查

利用回放图或在计算机上打开整饰文件目视检查注记有无错漏，位置是否恰当；检查图廓内整饰是否符合图式的规定，是否正确、完整。检测的依据参照 GB15968。

3.3.7 附件质量检查

3.3.7.1 元数据的检查

用目视检测法对元数据文件的数据项完整性、正确性做出检查。

元数据文件数据项的完整性检测以 CH/T 1007-2001 DOM 元数据样本为依据进行检测。

数据项的正确性检测需要将涉及到的资料、文件作为检测依据，对数学基础参数的检测则须计算出理论值作为检测依据。

3.3.7.2 文档簿的检查

用目视检测法对文档簿进行逐项检查，检查文档簿中必填项是否完备，是否符合文档簿的填写要求。

数据项的正确性检测需要将涉及到的资料、文件作为检测依据，必要时可要求提供必要的生产过程文件。

w. 质量评价

在对 1:10000 数字正射影像图质量检测的基础上，依照相关标准，对其质量作出评定。

4.1 正射影像图产品缺陷分为严重缺陷、重缺陷、轻缺陷。缺陷分类见表 2

表2 数字正射影像图产品缺陷分类

	严重缺陷	重缺陷	轻缺陷
基本要求	a.数据记录格式不符合规定		
数学精度	a.空间定位参考系统采纳错误 b.图幅范围不符合要求 c.地物点对最近野外控制点的平面位置中误差超限 d.图廓点、控制点、公里格网交点坐标值与理论值不符	a.图幅接边误差超限 b.地物点平面位置误差超限	
影像质量	a.影像地面分辨率不是 1m b.影像上因清晰度极差、纹理不清楚、云层遮盖、噪声等致使图幅内重要地物要素完全损失，面积超过 15%，一般地区影像损失面积超过 30% c.彩色影像色彩严重失真 d.影像重影面积超过 15%或影像模糊面积超过 30%	a.影像上因清晰度极差、纹理不清楚、云层遮盖、噪声等致使图幅内重要地物要素完全损失，面积超过 5% 小于 15%；一般地区影像损失面积超过 10%小于 30% c.影像重影面积超过 5% 小于 15% d.影像模糊面积超过 10% 小于 30%	a.影像镶嵌处有明显的灰度变化 b.影像上因清晰度极差、纹理不清楚、有大量云块、噪声等致使图幅内重要地物要素完全损失，面积未超过 5%；一般地区影像损失面积未超过 10% d.影像上有重影面积未超过 5%影像较模糊面积未超过 10%
注记整饰质量	a.图名图号错、漏 b.国界、未定国界附近地名注记或其他错误造成主权归属错误	a.县级或县级以上地名错漏 b.作为图名的图内名称注记错漏 c.首末方里网线或图廓点经纬度错、漏	a.一般地理名称错、漏 b.图廓外其他整饰内容有错误
附件质量	a.上交资料中缺少元数据、文档簿或影像信息文件中的任何一个	a.需归档的文档资料不齐全 b.元数据文件中主要项目像图名、图号、比例尺、坐标系、分辨率等错、漏 1 处，其他项每三处记为一个 c.文档簿主要项目错、漏 1 处他项每两处记为一个	a.元数据文件中除主要项目的其他项目错、漏 1 处 b.文档簿次要项错漏 1 处

4.2 质量评价

产品质量评价按照《GB/T XXXX-XXXX 数字测绘产品检查验收和质量评定标准》执行。

附录五：1:10000 数字栅格地图（DRG）生产技术规定

Technical specifications for producing 1:10000 digital raster graphics

19 范围

本规定规定了 1:10000 数字栅格地图（DRG）的生产制作技术、生产工艺流程及其作业规程。

本规定适用于 1:10000 数字栅格地图的数据采集,对其更新修测亦可参照有关部分执行。

x. 引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本规定中引用而成为本规定的条文。在本规定出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本规定的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T	5791-1993	1:5000、1:10000 地形图图式
GB/T	17798 –1999	地球空间数据交换格式
CH/T	1005-2000	基础地理信息数字产品数据文件命名规则
CH/T	1010-2001	基础地理信息数字产品 1:10000 1:50000 数字栅格地图
CH/T	1007-2001	基础地理信息数字产品元数据

y. 术语

3.54 几何校正

为了将扫描后的栅格坐标变换为大地平面直角坐标，同时消除或减少因图纸、扫描等因素造成几何变形中的系统误差而进行的一种坐标变换。通常采用仿射变换，双线性变换，二次多项式变换等。

a) 逐格网校正

若采用通常的坐标变换方法不能理想地消除图形的几何变形，即其误差不呈系统性，通过最小二乘法平差后的坐标残差仍超限，此时应采用逐格网几何校正，即逐一对每一公里格网（包括与内图廓线构成的四边形）进行双线性变换几何校正。

b) 色彩归化

彩色图纸经扫描后，其色彩会发生偏差，深浅浓淡也不一致，故需通过色彩重新赋值，将各个要素的色彩都统一为产品标准所设定的 RGB 值，称之为色彩归化。对于黑白图纸，将扫描后的灰度图像变为二值图像。

z. 资料准备

4.1 根据采用的资料性质可分为三类:

- aa. 1:10000 地形图印刷图
- bb. 1:10000 地形图分版二底图
- cc. 1:10000 DLG 数据

4.2 资料分析

- dd. 从地图、文档、元数据等资料了解成图年代，成图方法，采用的大地基准、高程基准、等高距以及内图廓点坐标等。
- ee. 图纸、二底图是否齐全，平整，无折皱，无污渍；DLG 数据是否完整。

ff. 生产流程与技术要求

5.1 直接法

直接对印刷图进行彩色（或黑白）扫描，然后通过几何校正、色彩归化（或二值化）、栅格编辑等过程，生成 DRG。

生产工艺流程（见图 1）

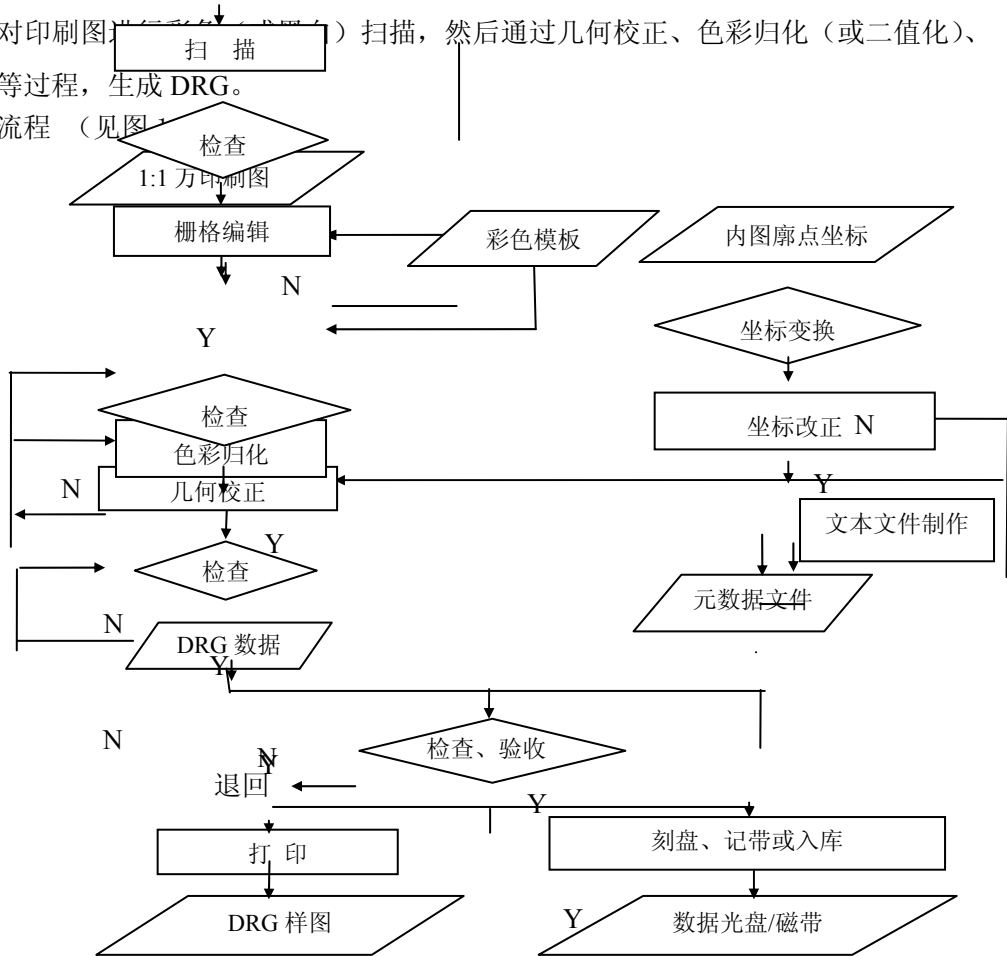


图 1 直接法生产工艺流程

5.1.2 技术要求

5.1.2.1 地形图扫描

- gg. 根据图面要素特别是等高线密度选择扫描分辨率，扫描分辨率不应低于 400dpi。
- 根据扫描图像灰度直方图选择亮度值与阈值，确保不漏要素，尽量不断线少粘连。

5.1.2.2 栅格数据编辑

- hh. 图面线条与注记清晰；
- 图面无明显噪声、斑点。

5.1.2.3 色彩归化

- ii. 各要素色彩 RGB 值符合 CH/T1010-2001 设置的彩色模板标准值要求；
- 色彩排列顺序与彩色模板顺序一致；
- 色彩数目与彩色模板一致。

5.1.2.4 几何校正

- jj. 几何校正重采样分辨率符合 CH/T 1010-2001 中的产品规格要求；
- kk. 经定向校正后，内图廓点、公里格网点坐标与理论值比较，偏差一般不大于 1m，最大不得大于 1.5m；
- ll. 定向校正后的数据按 GeoTIFF 格式存贮，或按 GB/T 17798-1999 的有关要求生成<附加信息文件>。

5.2 叠合法

对分版二底图分别进行扫描，分别进行几何校正、赋色，然后按坐标进行叠合生成 DRG。方法、要求、流程与直接法基本相同，不同之处如下：

5.2.1 生产工艺流程

- 分版灰度（黑白）扫描。
- mm. 分版处理，包括：去噪声编辑、赋设定色（RGB）、几何校正等。
- nn. 各版数据处理完成后再进行数据叠合，并控制叠合精度。

5.2.2 技术要求

图廓分版叠合误差要求不大于 1.5 个像素，且各分版地物要素套合后相互关系正确。

5.3 转换法

将 DLG 数据按图式要求符号化，并对各要素按标准要求设定 RGB 色，然后进行矢量—栅格数据转换，生成 DRG。

5.3.1 生产工艺流程(见图 2)

5.3.2 技术要求

- oo. 要素的符号化及线划类型、宽度应符合图式标准；
- pp. 要素色彩按产品标准要求赋色（RGB 值）；
- qq. 矢栅转换后，保留地理定位信息。

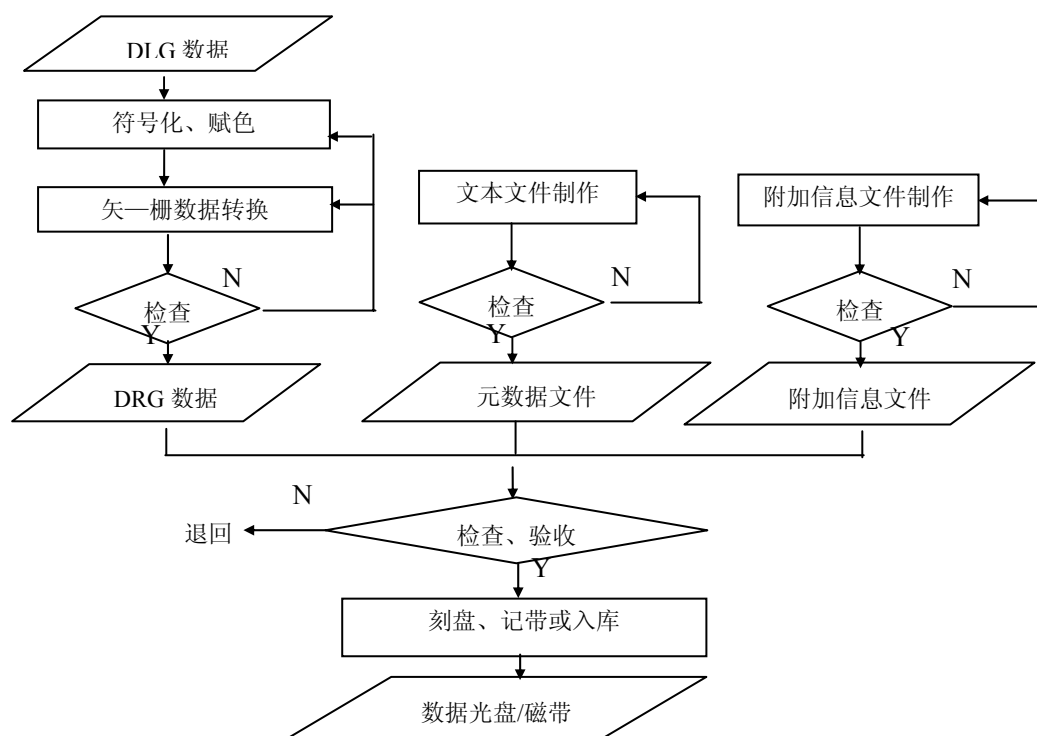


图 2 转换法生产工艺流程

20 作业规程

6.1 直接法

6.1.1 地图扫描

6.1.1.1 作业要求

- rr. 选择图面平整无折皱、无污渍、色正、清晰、印刷套合良好的纸图；
- ss. 通过试验选择恰当的图像扫描分辨率；
- tt. 通过试验选择适当的亮度值和阈值，尽量减少图面整体噪声；
- uu. 扫描彩色模式的设定采用 256 色模式。

6.1.1.2 质量控制

检查员检查、记录、签字。连续线性要素每 10cm 不应出现 2 个以上的断点，面状要素无明显断线。

6.1.2 栅格编辑

6.1.2.1 作业要求

- vv. 对粘连严重的图像进行分割
对密集等高线的粘连予以分割，对粘连的注记予以删除，重新植入；
- ww. 对明显断线、断点、漏白的图像进行填充；
- xx. 对细小的图斑噪声予以清除。

6.1.2.2 质量控制

- yy. 图面清洁，线划与注记清晰；
 - zz. 图面无明显非要素或整饰内容的影像噪声。
- 连续线性要素每 10cm 不应出现 2 个以上的断点，面状要素无明显断线。

6.1.3 色彩归化

6.1.3.1 作业要求

aaa. 简化色彩模式。如由 256 色转为 32 色最终归化为 16 色。

bbb. RGB 色彩模式参照“CH/T 1010-2001 有关内容执行。

ccc. 对系统性、区域性色彩噪声的处理与色彩归化。

— “浅黄色”噪声，按其分布轮廓勾取多边形进行去噪或色彩归化处理。

— “灰色”噪声，即 $R=G=B=a$ ，其 $0 < a < 255$ ，一般分布于整个图面中。通过试验，一般进行灰色分级处理。例如：

将 $a \in \{a \mid 180 < a \leq 255\}$ 的灰色予以清除，归化为白色；

$a \in \{a \mid 120 < a \leq 180\}$ 的灰色归化为标准灰色；

$a \in \{a \mid 0 < a \leq 120\}$ 的灰色归化为黑色。

— “杂色”噪声，即 $R \neq G \neq B$ ，其 a 也不属于各个分色版（如绿版、兰版、棕版、黑版）的主色范围（构成色）之内，往往随机分布且噪声象素较少，一般予以清除，归化为白色。

— 选取扫描图像中各分版主色接近的构成色，进行色彩归化。

— 上述内容，反复循环优化。

6.1.3.2 质量控制

ddd. 所有要素色彩都应进行归化处理，无明显遗漏。

eee. 不同版的面状、线状要素之间不应出现“串色”，局部出现非标准色，其比例应控制在 1/10 之内。

fff. 色彩归化后，检查员检查、记录、签名。

6.1.4 几何校正

6.1.4.1 作业要求

ggg. 根据原图与扫描变形的大小与特征采用不同的几何校正方法。

hhh. 设置地图重采样分辨率，一般采用 254dpi 最邻近点重采样。

iii. 坐标转换。如果要由 1954 年北京坐标转换为 1980 西安坐标，则应根据坐标系（平移）改正参数以及内图廓点坐标改正参数进行换算。

jjj. 量测定向点时，应在放大状态使光标精确对准栅格影像的点位中心。

kkk. 平差计算，检查残差，如超限应分析原因，对可疑点重测重算，必要时，提升变换方式，直至合格。

6.1.4.2 质量控制

lll. 打印定向报告，点位中误差与坐标残差不超限。

mmm. 检查员检查、记录、签名。

6.1.5 大地基准改变而引起的图幅重新分幅

6.1.5.1 通常，DRG 产品总是“忠实”于地形图原图，对图幅分幅、图面内容不作改变。

6.1.5.2 如果要将某一大地基准的 DRG 变换为另一大地基准的 DRG，则应在作平面坐标变换的同时，进行重新分幅的调整。做法如下：

nnn. 按新的大地基准平面坐标进行几何校正，制作本图幅与相邻 3 幅图的 DRG。

ooo. 删除内图廓线之外的所有图幅整饰内容。

ppp. 将相邻图幅 DRG 拼接，并采用栅格编辑方法去除原内图廓线影像。

qqq. 按新分幅的内图廓点坐标进行数据裁切，并生成新图幅的图廓内外整饰信息，二者套合。

rrr. 根据需要，保留或者编辑删除原坐标公里格网线。

6.1.6 文本文件制作

6.1.6.1 作业方法

采用相应软件，按 CH/T 1007-2001 中所规定的元数据项逐一录入。

6.1.6.2 质量控制

sss. 数据项中，必选项的内容不得空缺。

ttt. 数据项中的内容填写正确。

uuu. 检查员检查，记录，签名。

6.2 叠合法

6.2.1 作业要求

参照“直接法”分版进行处理、赋色，按坐标叠合。

6.2.2 质量控制

检查各版内图廓线的套合及分版要素之间的协调不超限。

6.3 转换法

6.3.1 矢栅转换

6.3.1.1 作业要求

vvv. 按图式要求将矢量数据符号化，线型化，并赋相应线宽与颜色。

www. 矢 — 栅转换，转为 GeoTIFF 文件或保留地理坐标定位信息即按 GB/T 17798-1999 制作<附加信息文件>。

6.3.1.2 质量控制

xxx. 图形化后的地形图符合图式要求。

yyy. 保持 DLG 数据的原有地理定位精度。

6.3.2 文本文件制作

参照 6.1.6 内容执行。

21 数据文件管理

7.1 文件命名

参照 CH/T 1005-2000 有关规定执行。

7.2 文件管理

一个工程项目的数据文件应在局域网服务器上集中统一管理，包括：数据源，重要的中间成果，最终产品以及大量的过程文件等。具体实施可根据各自具体情况决定，以数据安全和标示清楚、存取方便为原则，在“技术设计书”中明确规定。

22 产品归档

8.1 归档登记

对数据产品及有关文档资料根据《测绘成果管理规定》要求，按表格规定内容逐项登记，形成产品清单，检查无误后正式归档。

8.2 归档资料

zzz. 数据文件(见表 1)

表 1

内容	介质	备注
DRG 数据	磁带\光盘	可选
地形图扫描数据	磁带\光盘	
元数据	磁带\光盘	

aaaa. 图文件（可选）

- 1) 印刷地形图；
- 2) 回放检查图。

bbbb. 文档文件

- 1) 上交成果清单；
- 2) 技术设计书；
- 3) 技术总结；
- 4) 文档簿；
- 5) 验收报告。

8.3 产品包装

对于数字产品的记录介质（包括光盘、磁盘或磁带等）都需进行内包装与外包装，包装内容参照 CH/T 1010-2001 相关规定执行。

附录六：1:10000 数字栅格地图产品检测与评价

Product inspection and assessment for 1:10000 digital raster graphic

23 范围

本规定规定了 1:10000 数字栅格地图（DRG）产品检测方法和质量评价要求。
本规定适用于基础地理信息更新与建库中 1:10000 数字栅格地图（DRG）产品的检测及质量评价。

cccc. 引用标准

下列标准所包含的条文，通过在本规定中引用而构成为本规定的条文。在本规定出版时，所示版本均为有效。所有标准都会被修订，使用本规定的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

- GB/T xxxx-xxxx 数字测绘产品检查验收规定及质量评定标准
- CH 1007-2001 基础地理信息数字产品元数据
- CH 1010-2001 基础地理信息数字产品 1:10000、1:50000 数字栅格地图

dddd. 检测内容和方法

3.55 产品质量元素

1:10000 数字栅格地图产品的质量主要是通过表 1 规定的质量元素来评价的。

表 1 数字栅格地图产品质量元素

一级质量元素	二级质量元素
基本要求	文件名称、数据记录格式
数学精度	数学基础 平面精度 分版套合精度
图形质量	分辨率 清晰度 色彩一致性 外观质量
整饰质量	图廓整饰质量
附件质量	文档资料的正确、完整性 元数据的正确、完整性

3.56 提交检测的资料

- a. 项目设计书、技术设计书、技术总结等；
- b. 文档簿、质量跟踪卡等；
- c. 数据文件，包括图廓内外整饰信息文件，元数据文件等；
- d. 作为数据源使用的原图或复制的二底图；
- e. 图形数据输出的检查图或模拟图；
- f. 技术规定或技术设计书规定的其它文件资料。

提交验收时，还应包括检查报告。

3.57 检测内容和方法

质量检查采用软件自动检查、人机交互检查、人工校对检查等方法。视具体检查内容，确定采用一种或多种方法。

3.3.1 文件命名及数据格式检查

- a. 检测数据文件名的完整及正确性。
- b. 检测数据记录格式是否符合 CH/T1010-2001 的要求。

3.3.2 数学基础检查

将数据中的四个内图廓点、公里格网点的坐标按检索条件在屏幕上逐个显示，并与数据源上得到的值相比较，分别检核各自误差。

3.3.3 接边精度的检验

在计算机上显示相邻的接边图幅，目视检查公共图廓边是否完全重合，模拟图接边后生产的数字栅格地图，不再进行接边检查。

3.3.4 外观质量检验

计算机上显示图幅整体外观，检查图幅是否进行整饰及整饰质量，图内色调是否均匀一致，图形有无不清晰发糊、发虚、折线、要素丢失现象。如为彩色，其色值应满足 CH/T1010-2001 中规定的 RGB 色彩模式。

3.3.5 分版套合检验

将分版套合的数字栅格地图在屏幕上显示检查其套合后精度和要素关系是否合理，比较其他版与黑版内图廓点的套合误差，其套合误差不大于 2m。

3.3.6 分辨率的检验

检测其分辨率是否满足 CH/T1010-2001 的要求。

3.3.7 附件质量检查

3.3.7.1 检查上交的资料是否完整。

3.3.7.2 元数据的检查

对数据文件中元数据内容进行逐项检查，检查是否符合 CH/T1007-2001 中的有关规定。

3.3.7.3 检查文档资料填写的完整及正确性。

eeee. 质量评价

4.1 单位产品的缺陷分为严重缺陷、重缺陷、轻缺陷。缺陷分类见表 2。

表 2 数字栅格地图产品缺陷分类

	严重缺陷	重缺陷	轻缺陷
基本要求	a.数据无法读出或出现严重丢失。 b.数据文件图名或图号错漏。	a.文件命名及记录格式不符合技术规定的要求	
数学精度	a.图廓点、公里网交点坐标误差超限。 b.分版套合栅格图套合误差超限。	a.首末方里网线或图廓点经纬度错、漏。	a.接边误差超限，每二处计为一个。
图形质量	a.外观整体质量很差，要素发糊、发虚分辨不清，要素严重丢失。	a.外观质量差（色调不均匀，图形不清晰，有发糊、发虚、折线现象）。 b.彩色栅格图其色彩归化处理后与规定的 RGB 值不符或未归化。	
整饰质量		a.未作图廓整饰或整饰质量差。	
附件质量		a.元数据文件项中图廓角点经纬度范围及坐标填写错，每一处计为一个。	a.上交资料不完整。 b..元数据文件中除重缺陷以外其他项漏或错，每二项计为一个。 c.文档资料填写的不完整或不正确，每二处计为一个。

4.2 质量评价

产品质量评价按照《GB/T XXXX-XXXX 数字测绘产品检查验收和质量评定标准》执行。