



遥感数字图像处理

实验报告

姓名: 黄鑫毅

学号: 109092017073

专业: 地理信息科学

年级: 2017 级

成績: _____

2019 年 10 月 15 日

目录

一、实验目的	3
二、实验原理	3
1.几何校正的概念	3
2.遥感图像的匹配	3
3.几何粗校正	4
4.几何精校正	4
①概述	4
②原理	4
③基本思路	4
④几何校正方法	4
5.重采样成图法几何精校正	5
①几何位置的变换——多项式法	5
②共轭位置亮度值的确定	5
6.几何校正的步骤	6
7.选取控制点的原则与特征	6
三、实验工具与实验数据	6
1.实验工具：	6
2.实验数据：	6
四、实验流程	6
五、实验步骤	7
六、实验结果	11
1.三景原始影像对比	11
2.1994 年 TM 与 1999 年 TM 分别于 SPOT 校正全图	12
3.1994 年 TM 与 1999 年 TM 控制点选取情况	12
4.相同配准精度下不同采样方法的对比	13
5.不同配准精度下相同采样方法的对比	14
6.不同重采样方式边缘特征	19
7.控制点分布较少的山区发生变形	19
8.不考虑误差下的所有控制点进行计算	19
9.不同校正方式像元直方图对比（真彩色合成）	20
七、分析与讨论	21

实验二 几何校正

一、实验目的

1. 掌握几何校正的基本原理与概念，掌握控制点的选取原则和方法。
2. 掌握 PCI Geomatica 2018 重投影的方法。利用 SPOT 遥感影像进行重采样练习。
3. 掌握 PCI Geomatica 2018 文件格式转换的步骤。利用配准影像数据格式转换为.PIX 及其它格式进行练习。
4. 学会在 PCI Geomatica 2018 中的进行几何精校正。把 TM 影像和 SPOT 影像放在同一坐标投影下。
5. 对不同 RMSE 误差校正结果以及不同几何校正方法的结果进行比较。探索判断哪一种方式的校正结果无变形程度最低、光谱变异最小。

二、实验原理

1. 几何校正的概念

由于遥感传感器、遥感平台以及地球自身等方面的原因，在遥感成像时会引起几何畸变。几何校正就是要校正成像过程中所造成各种几何畸变，使之实现与标准影像或地图的几何整合。

按照畸变的性质划分，几何畸变可分为系统性畸变和随机性畸变。系统性畸变是指遥感系统造成的畸变，这种畸变一般有一定的规律性，并且其大小事先能够预测，例如扫描镜的结构方式和扫描速度等造成的畸变。随机性畸变是指大小不能事先预测、其出现带有随机性质的畸变，例如地形起伏造成的随地而异的几何偏差。

几何校正分为两种：即几何粗校正和几何精校正。几何粗校正是针对引起畸变原因而进行的校正。由于这种畸变是按照比较简单和相对固定的几何关系分布在图像中的，因而它比较容易校正，进行校正时只需将传感器的校准数据、遥感平台的位置以及卫星运行姿态等一系列测量数据代入理论校正公式即可。几何精校正是利用控制点进行的几何校正，它是用种数学模型来近似描述遥感图像的几何畸变过程，并利用畸变的遥感图像与标准地图之间的一些对应点（即控制点数据对）求得这个几何畸变模型，然后利用此模型进行几何畸变的校正。这种校正不考虑畸变的具体形成原因，只考虑如何利用畸变模型来校正遥感图像。

通常对于星载遥感图像来说，几何粗校正和几何精校正都是要进行的即首先对遥感图像施以几何粗校正，然后再利用控制点对其进行几何精校正的处理。一般地面接收站提供给用户的卫星遥感数据都是经过第一阶段的几何粗校正处理的，所以在应用前所要进行的几何校正是第二阶段的几何精校正处理。

2. 遥感图像的匹配

对不同来源的图像同一区域景物的互相匹配、叠加，是后续集成不同传感器的信息的前提。

匹配是产生一个空间校准的图像集合或校准某景物图像的过程。这里涉及到两种类型的图像匹配方式：一是对不同来源的图像进行相互匹配相对匹配；二是针对某一标准空间（如

地理制图空间), 将所有不同来源的图像与之匹配绝对匹配。从本质上说, 匹配与几何校正一样, 无论是相对匹配还是绝对匹配, 首先都需把某一图像作为标准, 其次分析其他图像相对于标准图像的几何变形最后采用某一能够反映这种几何变形的数学模型将其他所有的图像全部校准到这标准图像上来。为此在图像匹配中也直接用一个当的多项式来模拟两幅图像间的相对变形, 并以此多项式进行图像的配准。

3. 几何粗校正

针对引起畸变原因而进行的校正, 这种畸变按照简单和相对固定的几何关系分布在图像中的, 校正时只需将传感器原校准数据、遥感平台的位置以及卫星运行姿态等一系列测量数据代入理论校正公式。几何粗校正主要校正系统畸变。

4. 几何精校正

① 概述

利用控制点进行的几何校正, 它是用一种数学模型来近似描述遥感图像的几何畸变过程, 并利用畸变的遥感图像与标准地图之间的一些对应点(即控制点(GCP))求得这个几何畸变模型, 然后利用此模型进行几何畸变校正, 这种校正不考虑畸变的具体形成原因, 而只考虑如何利用畸变模型来校正遥感图像。

② 原理

回避成像的空间几何过程, 而直接利用地面控制点数据对遥感图像的几何畸变本身进行数学模拟, 并且认为遥感图像的总体畸变可以看作是挤压、扭曲、缩放、偏移以及更高层次的基本变形的综合作用的结果, 因此校正前后影像相应点的坐标关系, 可以用一个适当的数学模型来表示。具体体现: 首先利用地面控制点数据确立一个适当的数学模型, 依次来建立原始畸变图像空间与标准空间的某种对应关系; 其次利用这种对应关系将畸变空间中的全部元素变换到标准空间中去, 从而实现图像的几何精校正。

③ 基本思路

没有变形的影像是由行列整齐的等间距像元点组成的, 但实际上, 由于存在几何畸变, 影像中像元点间所对应的地面距离并不相等(图1a)。校正后的影像亦是由等间距的网格点组成的, 且以地面为标准, 符合某种投影的均匀分布(图1b), 图像的格网交点可以看作像元的中心。校正的最终目的是确定校正后图像的行列数值, 然后找到新图像中每一像元的亮度值。

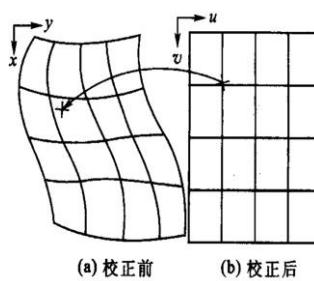


图1 影像校正前后示意

④ 几何校正方法

根据原始畸变空间与校正后的标准空间的转化方式和校正后的标准空间像元亮度值的获得方式的不同, 可将几何精校正分为直接成图法和重采样成图法。

5.重采样成图法几何精校正

①几何位置的变换——多项式法

多项式纠正的基本思想：图像的变性规律可以看作是平移、缩放、旋转、仿射、偏扭、弯曲等形变的合成。一般的公式为：

$$\begin{cases} x = a_0 + (a_1 X + a_2 Y) + (a_3 X^2 + a_4 XY + a_5 Y^2) + \\ (a_6 X^3 + a_7 X^2 Y + a_8 XY^2 + a_9 Y^3) \dots \\ y = b_0 + (b_1 X + b_2 Y) + (b_3 X^2 + b_4 XY + b_5 Y^2) + \\ (b_6 X^3 + b_7 X^2 Y + b_8 XY^2 + b_9 Y^3) \dots \end{cases}$$

式 1 多项式纠正公式

利用有限的控制点的已知坐标，求解多项式的系数，确定变换函数。然后将各个像元带入多项式进行计算，得到纠正后的坐标。

$$N = (n+1)(n+2)/2$$

式 2 控制点公式

由于多项式的项数（即系数个数）N 与其阶数 n 有着固定的关系。因此，根据 GCP 数据用最小二乘法来计算未知系数时，GCP 的数目必须不小于 N 个。当两者相等时，系数可以直接解方程求得（不必求偏导数），这时建立的多项式函数完全通过 GCP，因此 GCP 的误差对几何精校正影响较大。若控制点数小于 N 个，则解是不定的，无法确定畸变函数。

②共轭位置亮度值的确定

在重采样几何精校正中是由输出影像的坐标,反过来求出其在输入影像(即未校正的原始图像)中的坐标。显然，作为输出影像的坐标，要取连续的整数,其大小即行数和列数)也是事先规定的。假如输出影像阵列中的任意像元坐标在原始图像中的坐标为整数时，便可简单地将整数点位上的原始影像的已有亮度值直接取出填入输出影像。但原始图像的坐标却往往并不是整数，多数情况下是落在输入影像阵列中的几个像元点之间(即共轭位置)，因而输出影像的像元亮度值，必须通过适当方法把该点四周邻近的若干整数点位上的亮度值对该点的亮度贡献累积起来构成该点位上的新亮度值。这个过程称为数字图像亮度(灰度)值的再采样或重采样，重采样成图法的名称就是由此而来。常用的亮度重样方法有最近邻点法、双线性内插法及三次卷积法三种。

最邻近(Nearest Neighbor, NN)内插法:所示以距内插点最近的观测点的像元值为所求的像元值。该方法最大可产生 1/2 像元的位置误差,但优点是，不破坏原来的像元值,处理速度快。

双线性(bi-linear, BL)内插法: 使用内插点周围的 4 个观测点的像元值,对所求的像元值进行线性内插。该方法的缺点是破坏了原来的数据,但具有平均化的滤波效果。

三次卷积(Cubic Convolution, CO)内插法:使用内插点周围的 16 个观测点的像元值，用三次卷积函数对所求像元值进行内插。该方法的缺点是破坏了原来的数据但具有图像的均衡化和清晰化的效果，可得到较高的图像质量。

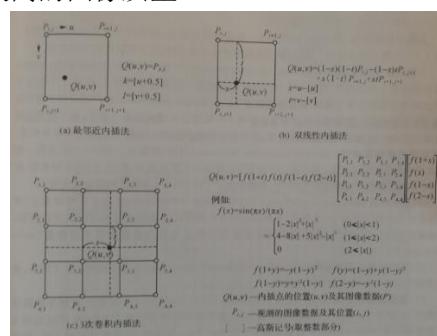


图 2 重采样方法示意

6. 几何校正的步骤

- ① 建立原始图像与校正后图像的坐标系。
- ② 确定 GCP，即在原始畸变图像空间与标准地图（或图像）空间寻找控制点对。
- ③ 选择畸变模型，并利用 GCP 数据求出畸变模型的未知参数，然后利用此畸变模型对原始畸变图像进行几何精校正。
- ④ 几何精校正的精度检验。方法与确定 GCP 类似，选择一批检验点，计算已校正图像单个检验点坐标偏差及多个检验点总的离差平方和。GCP 选择有误差、GCP 数目过少、GCP 分布不合理以及选择的畸变数学模型不合适，都会造成几何精校正的精度下降，因此，必须通过精度分析，找出精度下降的原因，改进后再重新进行几何精校正，这一过程直到满足精度要求为止。

7. 选取控制点的原则与特征

- ① 在图像上有明显的清晰的定位识别标志，如道路等线性地物的交叉点、建筑边界、农田边界线等。
- ② 控制点上的地物不随时间而变化，以保证当两幅不同时段的图像或地图几何纠正时，可以同时识别出来，如水库边线由于水城范围变化过大，不宜采集控制点。
- ③ 在没有做过地形纠正的图像上选控制点时，应在同地形高度上进行。
- ④ 控制点应当均匀地分布在整幅图像内，且要有一定的数量保证。

三、实验工具与实验数据

1. 实验工具：PCI Geomatic 2018

2. 实验数据：

- ① SPOT 全色波段数据 (4 291-302 99-11-03 03:07:05 2 M Level 1A SAT 0)
- ② TM 多光谱影像

四、实验流程

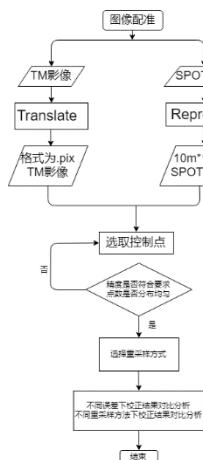


图 3 实验流程

五、实验步骤

1. 将 SPOT 影像重采样至 10m。打开 PCI-Focus-Tools-Reprojection，选择如下图所示参数。

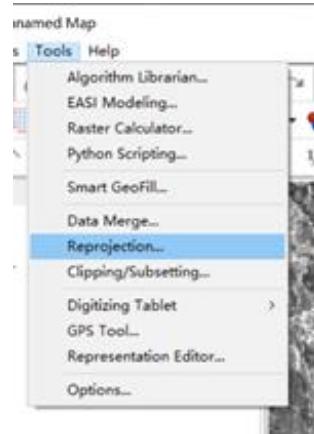


图 4 选择重投影

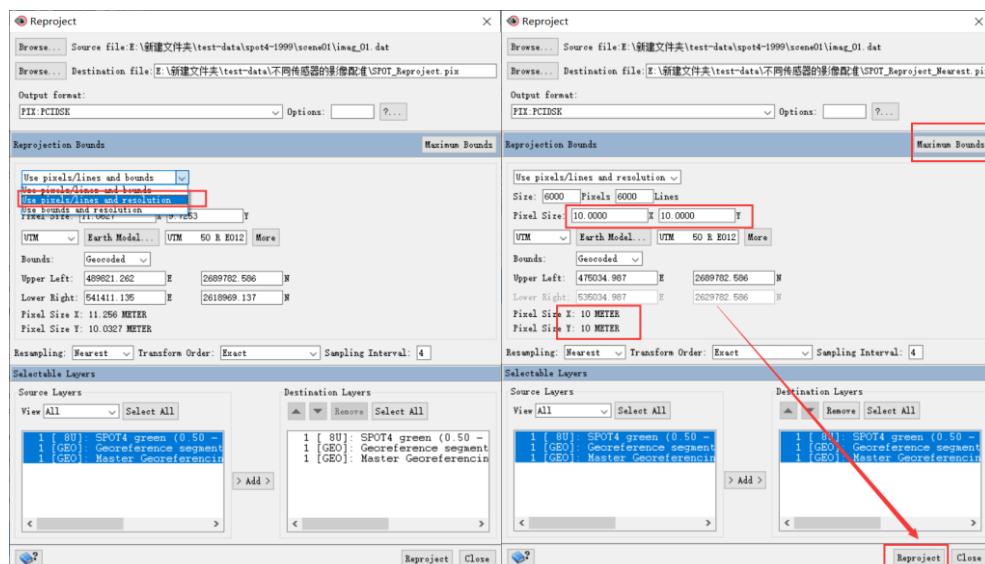


图 5、6 设置重投影参数

2. 将 TM 遥感影像转化为.PIX 格式。打开 PCI-File-Utility-Translate，选择如下图所示参数。

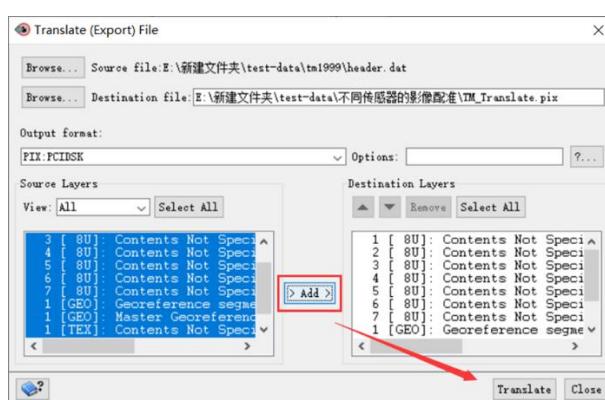


图 7 加入转换文件格式后的所需波段

3. 打开 PCI OrthoEngine 模块，新建工程文件。选择 Polynomial，投影选择 UTM，E012WGS84 椭球体，ZONE 50，ROW R，输出像元为 10m，设置结果步骤如下所示。

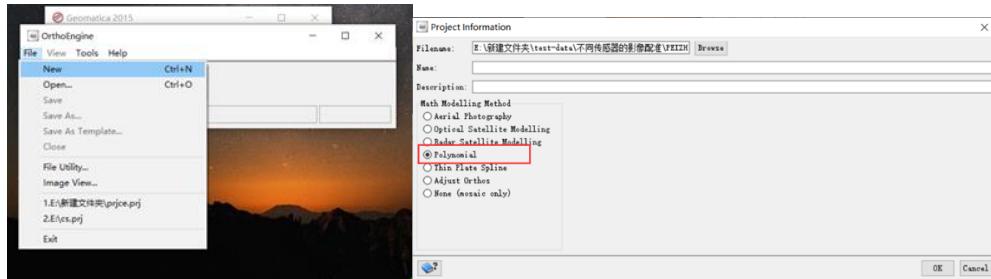


图 8 新建工程

图 9 选择多项式模型

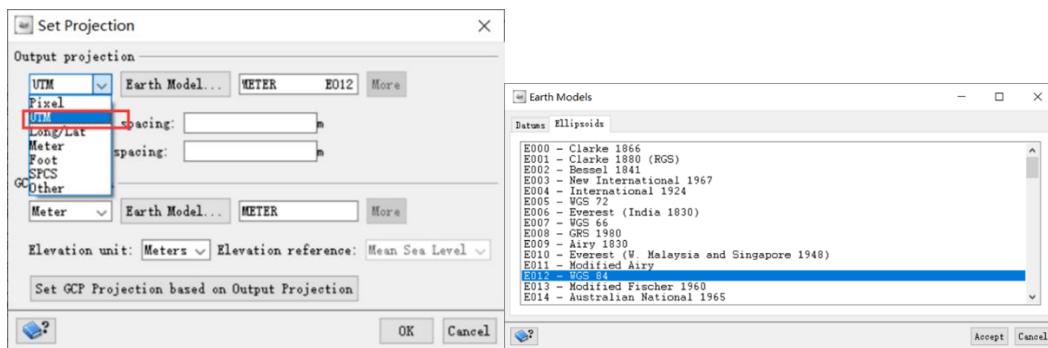


图 10 设置为 UTM 坐标系

图 11 选择 WGS 84 坐标系

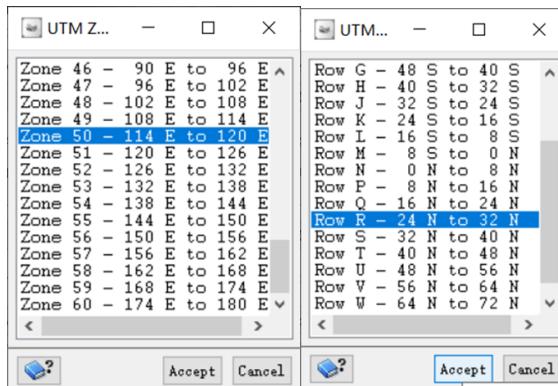


图 12、13 设置坐标系经纬地区位置

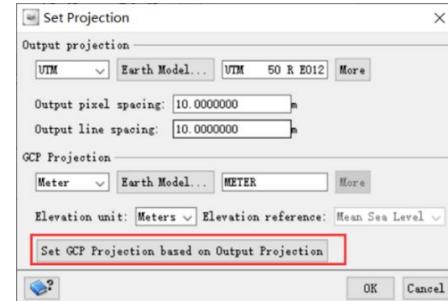


图 14 设置控制点投影参数

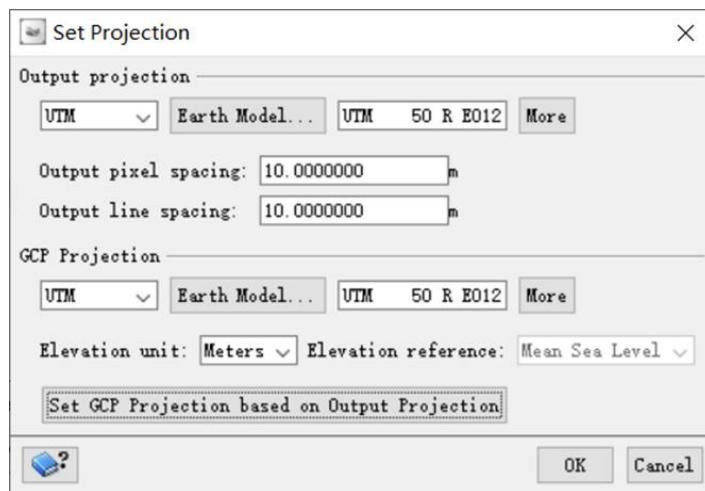


图 15 设置完成结果

3. 将 TM 影像加入工程，并打开。

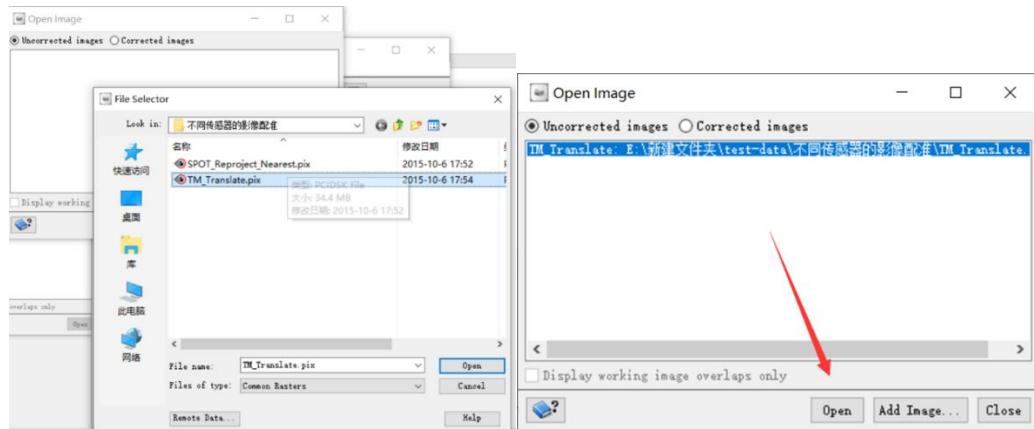


图 16 加载 TM 影像进入工程

图 17 打开 TM 影像

4. 选择地面控制点来源，选择 Geocoded image。

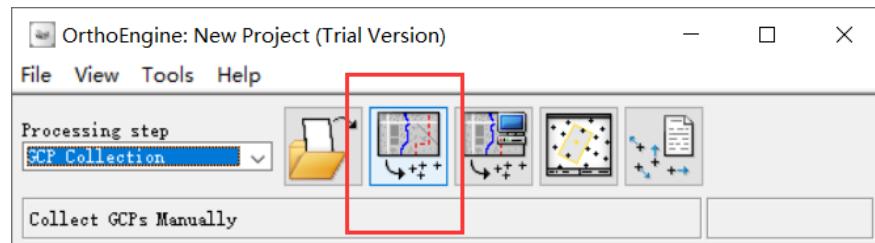


图 18 打开选取控制点界面

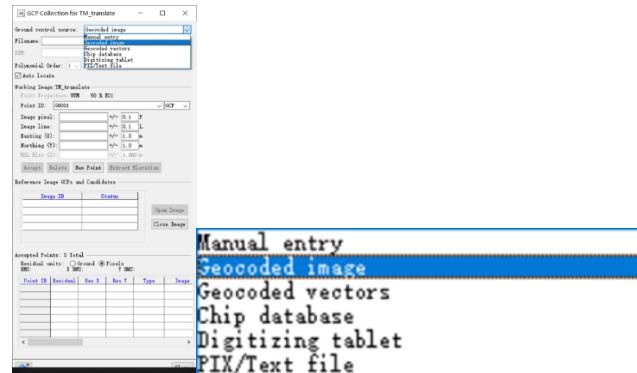


图 19 选择控制点来源地理编码图像

5. 选择控制点。先在 SPOT 影像上点击 Use Point 后，再到待校正影像点击 Use Points，后在控制点选择界面点击 Accept。

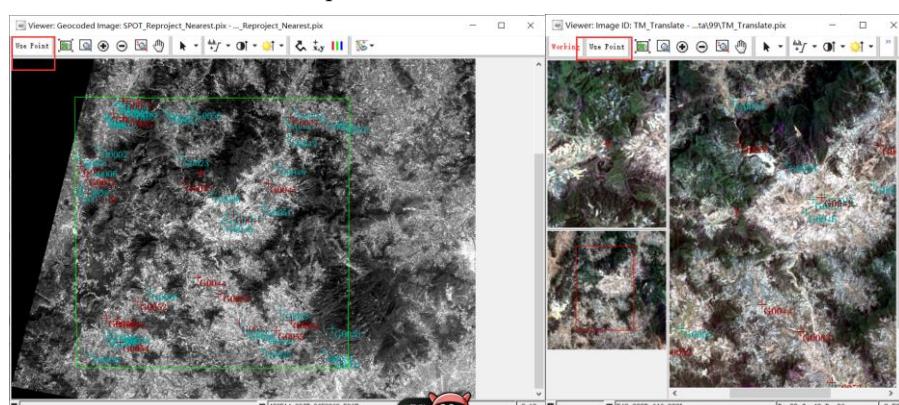


图 20、21 在待配准影像和标准影像分别选取同名点



图 22 保存控制点

6. 控制点变为 Check 点。当一个控制点的加入后会导致整体校正精度下降，可以选择 Point ID，把它变 Check 点

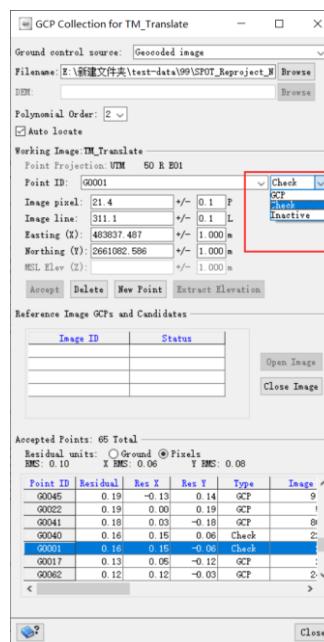


图 23 把控制点变为 Check 点

7. 选完足够多的控制点并保证 RMS 不超过一定范围后，可以选择 Geometric Correction 进行校正。

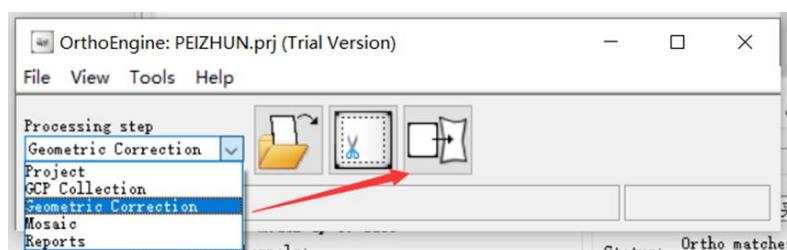


图 24 打开纠正工具

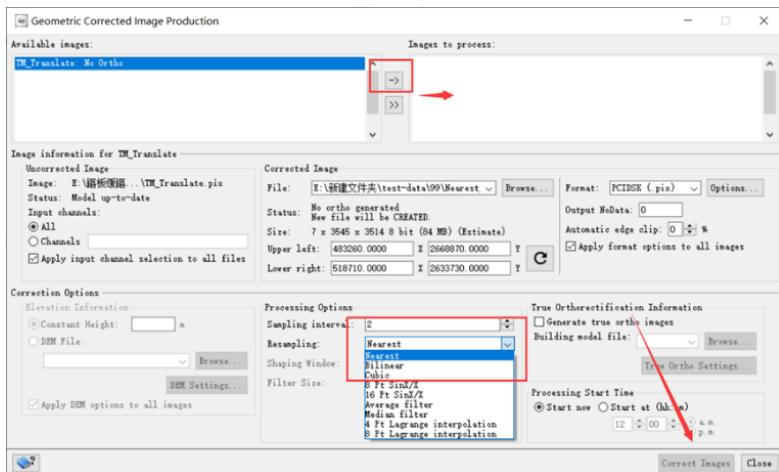


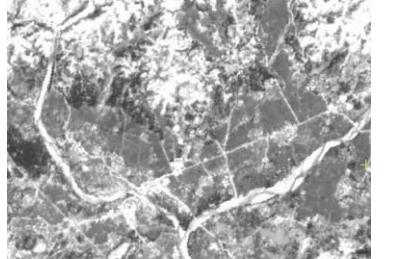
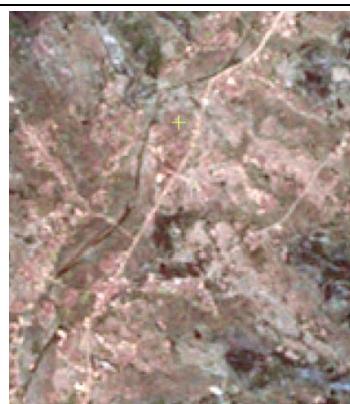
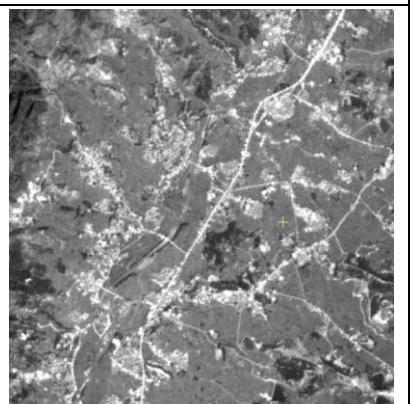
图 25 选择校正影像和校正方法

六、实验结果

1.三景原始影像对比

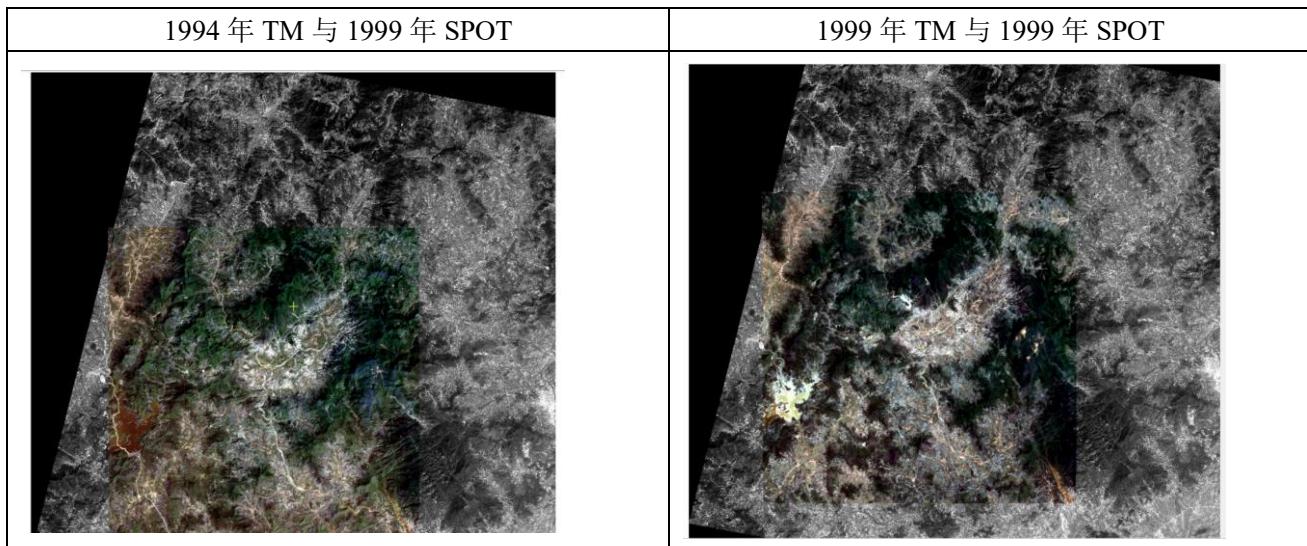
这次校正实验中一共做了两景 TM 影像与 SPOT 影像的影像配准。根据影像比对可以发现，94 年的 TM 影像比 99 年的 TM 影像道路更加清晰易辨，且与 99 年 SPOT 影像道路信息差异不大。为了后面实验进行多时相多传感器的融合做对比，此次实验对这两景 TM 影像都与 99 年 SPOT 做几何配准。

表 1 三景影像差异较大地区对比

1994 年 TM	1999 年 TM	1999 年 SPOT
		
		

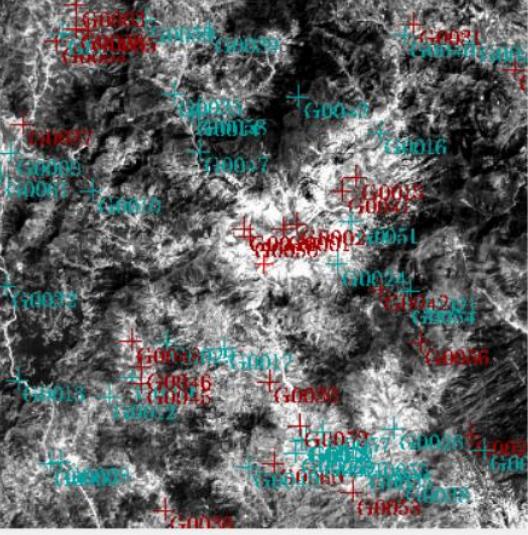
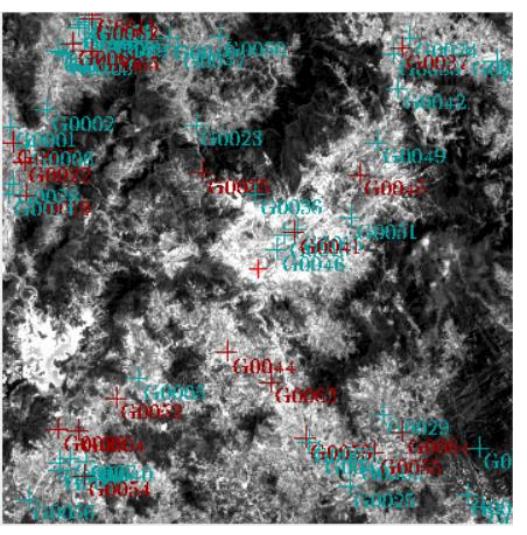
2.1994 年 TM 与 1999 年 TM 分别于 SPOT 校正全图

表 2 1994 年 TM 与 1999 年 TM 分别于 SPOT 校正全图



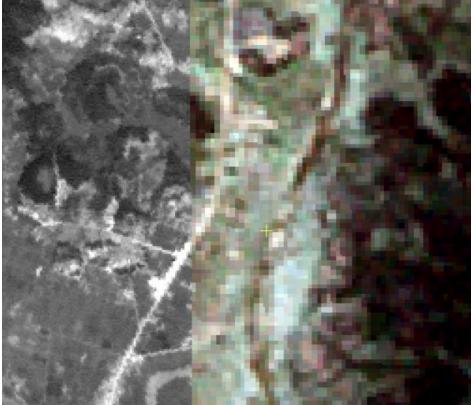
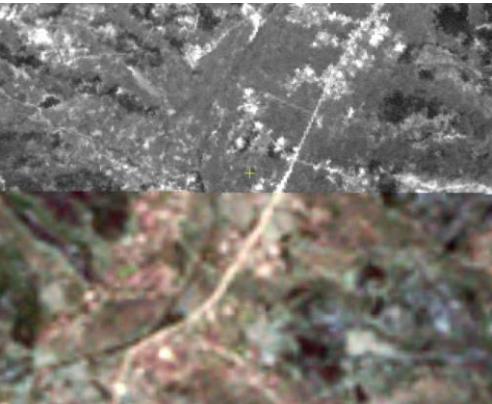
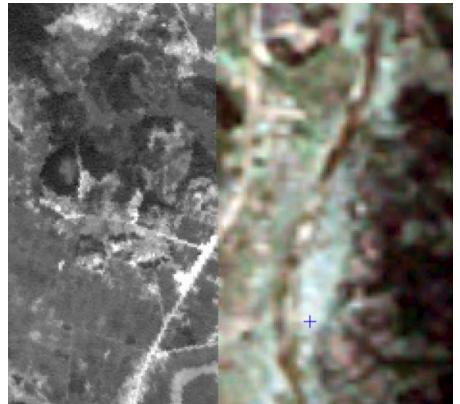
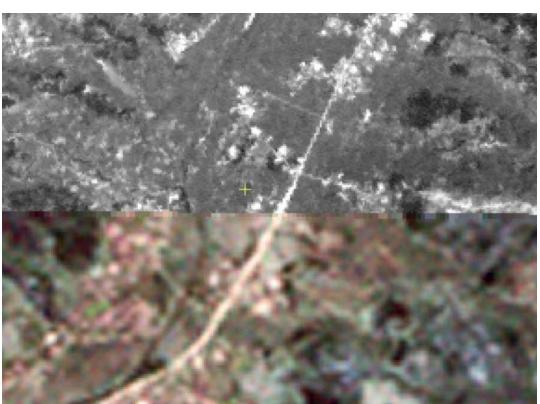
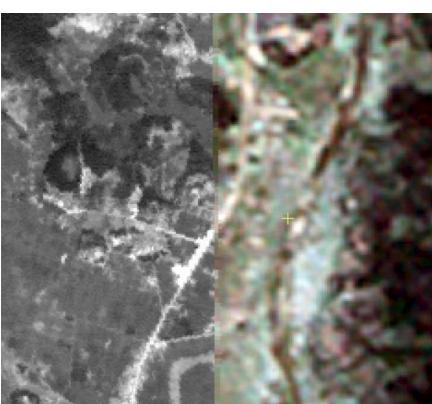
3.1994 年 TM 与 1999 年 TM 控制点选取情况

表 3 1994 年 TM 与 1999 年 TM 控制点选取情况

1994 年 TM	1999 年 TM
一共选取了 61 个点，其中 37 个作为 Check 点后，误差仅为 0.1，此时还剩下 24 个 GCP 点。	一共选取了 65 个点，其中 45 个作为 Check 点后，误差仅为 0.1，此时还剩下 20 个 GCP 点。
<p>Accepted Points: 61 Total Residual units: <input type="radio"/> Ground <input checked="" type="radio"/> Pixels RMS: 0.10 X RMS: 0.08 Y RMS: 0.06</p> <p>Residual Summary for 1 Images Active GCPs: 24 X RMS: 0.08 Y RMS: 0.06 Active TPs: 0 X RMS: Y RMS: Check points: 37 X RMS: 2.44 Y RMS: 0.72 Inactive GCPs: 0 X RMS: Y RMS: Inactive TPs: 0 X RMS: Y RMS: RMS (x, y, z) for worst 5% of active points in list: 7.57, 1.12</p> 	<p>Accepted Points: 65 Total Residual units: <input type="radio"/> Ground <input checked="" type="radio"/> Pixels RMS: 0.10 X RMS: 0.06 Y RMS: 0.08</p> <p>Residual Summary for 1 Images Active GCPs: 20 X RMS: 0.06 Y RMS: 0.08 Active TPs: 0 X RMS: Y RMS: Check points: 45 X RMS: 1.19 Y RMS: 0.84 Inactive GCPs: 0 X RMS: Y RMS: Inactive TPs: 0 X RMS: Y RMS: RMS (x, y, z) for worst 5% of active points in list: 4.12, 1.75</p> 

4. 相同配准精度下不同采样方法的对比（以 1999 年 TM 影像为例，误差 0.1, 20 个 GCP 点，一共选取了 65 个点）(RGB 显示波段 123)

表 4 不同重采样方式下 0.1 误差下的结果

Nearest		
Bilinear		
Cubic		

5. 不同配准精度下相同采样方法的对比（以 1999 年 TM 影像为例，重采样方法均为 Cubic，一共选取 65 个点）

① 类别

A 误差 0.1，控制点 20 个

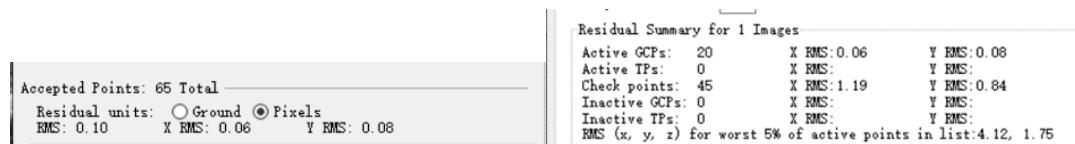


图 26.1 误差精度示意 a

Residual Summary for 1 Images
Active GCPs: 20 X RMS: 0.06 Y RMS: 0.08
Active TPs: 0 X RMS: Y RMS:
Check points: 45 X RMS: 1.19 Y RMS: 0.84
Inactive GCPs: 0 X RMS: Y RMS:
Inactive TPs: 0 X RMS: Y RMS:
RMS (x, y, z) for worst 5% of active points in list: 4.12, 1.75

图 26.2 误差精度示意 b

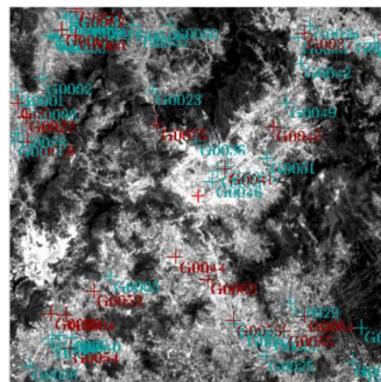


图 26.3 误差 0.1，控制点 20 个分布情况

B 误差 0.2，控制点 32 个

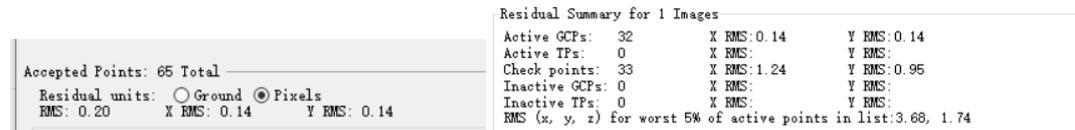


图 27.1 误差精度示意 a

Residual Summary for 1 Images
Active GCPs: 32 X RMS: 0.14 Y RMS: 0.14
Active TPs: 0 X RMS: Y RMS:
Check points: 33 X RMS: 1.24 Y RMS: 0.95
Inactive GCPs: 0 X RMS: Y RMS:
Inactive TPs: 0 X RMS: Y RMS:
RMS (x, y, z) for worst 5% of active points in list: 3.68, 1.74

图 27.2 误差精度示意 b

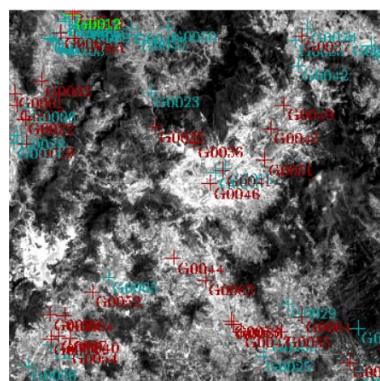


图 27.3 误差 0.2，控制点 32 个分布情况

C 误差 0.3，控制点 42 个

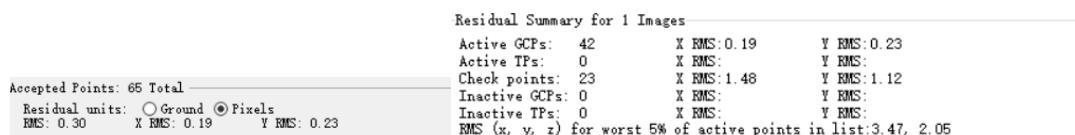


图 28.1 误差精度示意 a

Residual Summary for 1 Images
Active GCPs: 42 X RMS: 0.19 Y RMS: 0.23
Active TPs: 0 X RMS: Y RMS:
Check points: 23 X RMS: 1.48 Y RMS: 1.12
Inactive GCPs: 0 X RMS: Y RMS:
Inactive TPs: 0 X RMS: Y RMS:
RMS (x, y, z) for worst 5% of active points in list: 3.47, 2.05

图 28.2 误差精度示意 b

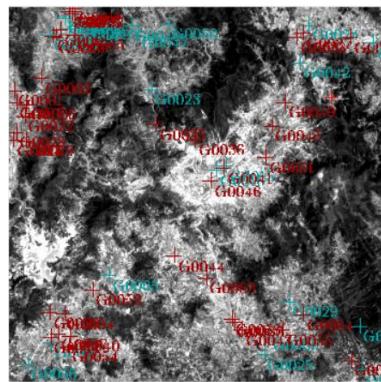


图 28.3 误差 0.3, 控制点 42 个分布情况

D 误差 0.4, 控制点 51 个

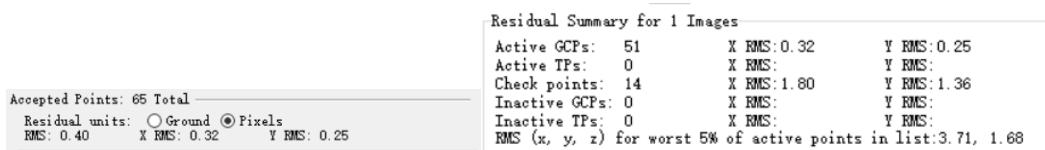


图 29.1 误差精度示意 a

图 29.2 误差精度示意 b

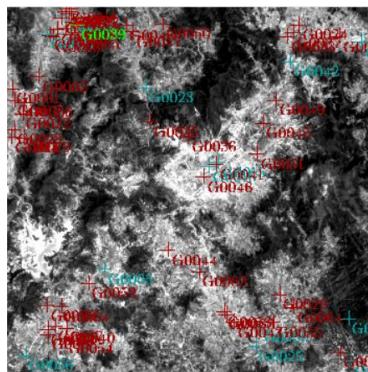


图 29.3 误差 0.4, 控制点 51 个分布情况

E 误差 0.49, 控制点 58 个

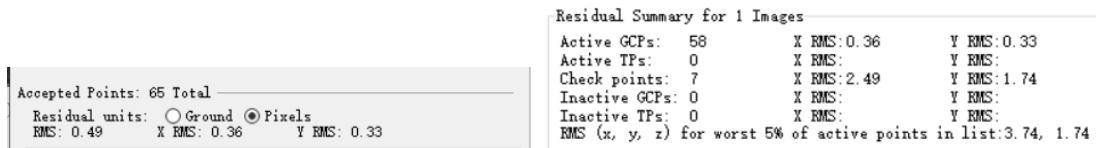


图 30.1 误差精度示意 a

图 30.2 误差精度示意 b

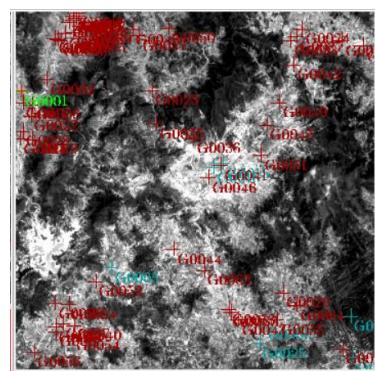


图 30.3 误差 0.49, 控制点 58 个分布情况

②不同误差下校正结果对比

A、道路

SPOT 影像位置

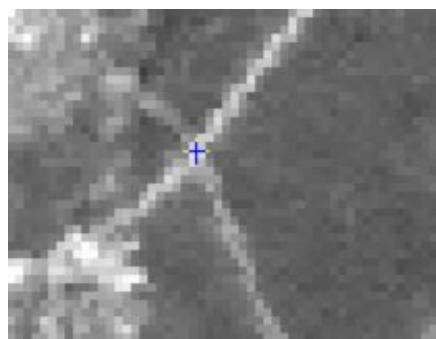


图 31 SPOT 影像道路 1

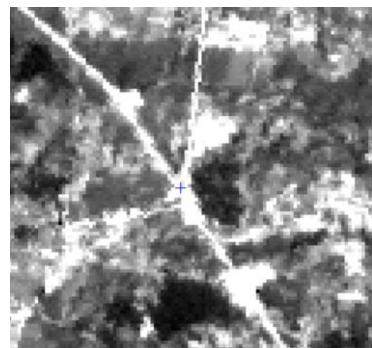


图 32 SPOT 影像道路 2

表 5 不同误差纠正下的道路对比

误差	道路 1	道路 2
0.1	A color-coded map of the road area from Figure 31, showing significant geometric distortion and blur. A blue crosshair marker is present.	A color-coded map of the road area from Figure 32, showing significant geometric distortion and blur. A blue crosshair marker is present.
0.2	A color-coded map of the road area from Figure 31, showing moderate geometric distortion and blur. A blue crosshair marker is present.	A color-coded map of the road area from Figure 32, showing moderate geometric distortion and blur. A blue crosshair marker is present.
0.3	A color-coded map of the road area from Figure 31, showing slight geometric distortion and blur. A blue crosshair marker is present.	A color-coded map of the road area from Figure 32, showing slight geometric distortion and blur. A blue crosshair marker is present.

0.4		
0.49		

B、山上湖泊
SPOT 影像位置

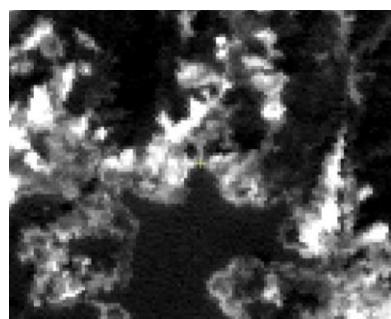


图 33 SPOT 影像湖面 1

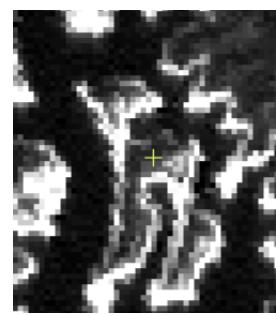
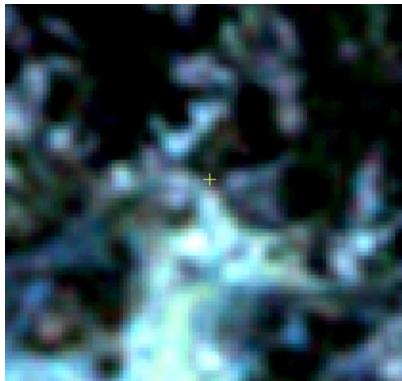
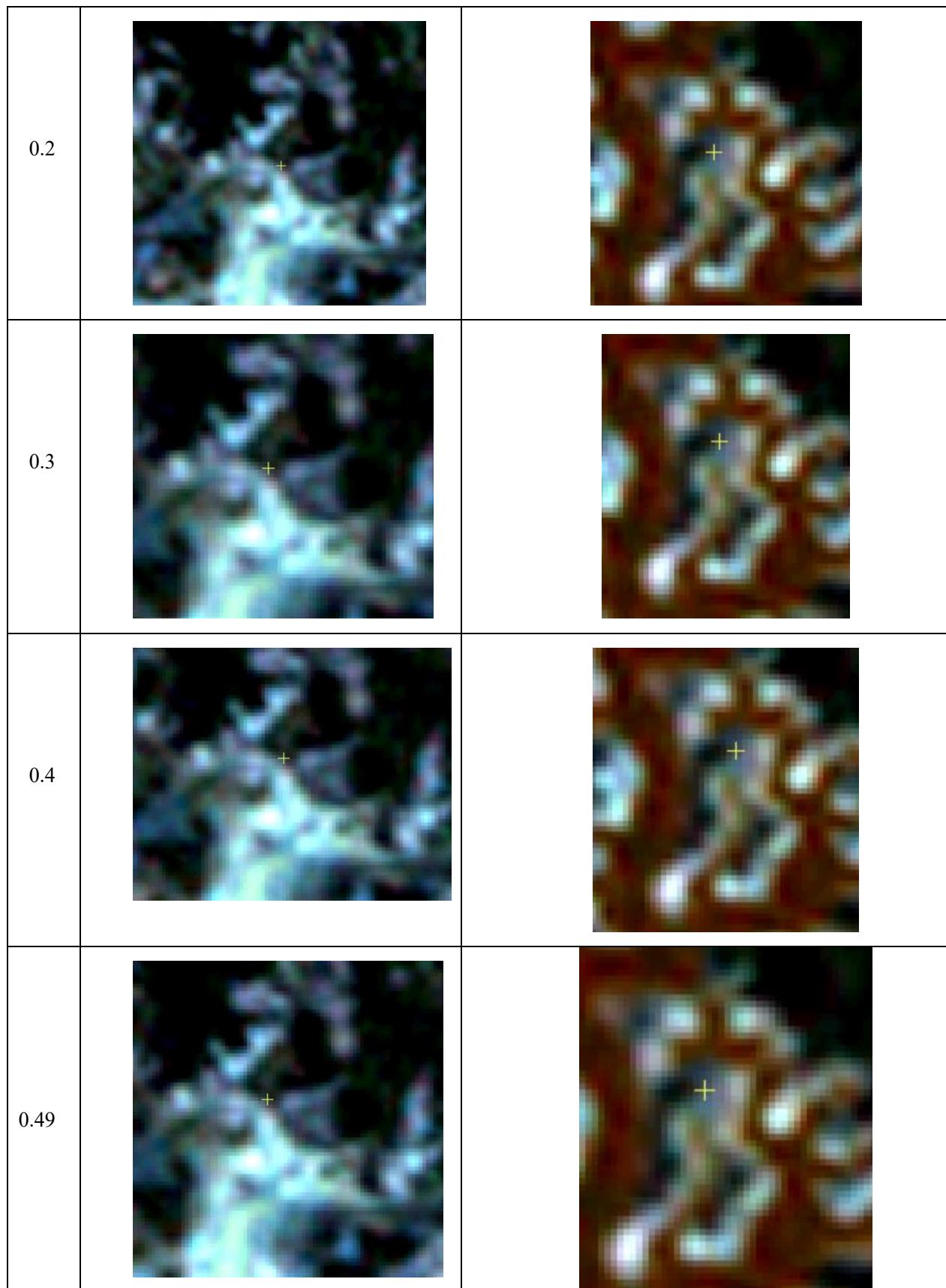


图 34 SPOT 影像湖面 2

表 6 不同误差纠正下的湖泊对比

误差	左下角湖泊	右下角湖泊
0.1		



6.不同重采样方式边缘特征

表 7 不同重采样方式边缘特征

邻近法出现的锯齿状像元	双线性内插法的影像边缘模糊	三次卷积法较好保存边缘成分
		

7.控制点分布较少的山区发生变形

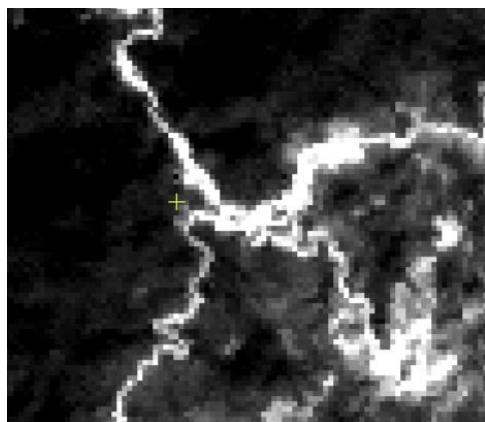


图 35 SPOT 影像位置

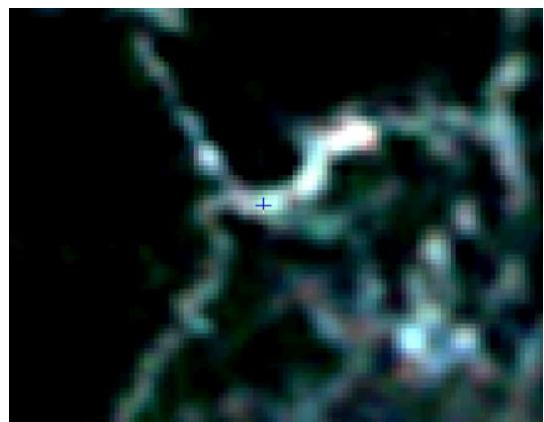


图 34 校正后 TM 影像位置

8.不考虑误差下的所有控制点进行计算

不考虑误差，添加更多的山区河流控制点，在山区河流处添加了 10 个控制点，此时有 75 个控制点，并把所有控制点加入计算，误差 2.08。不仅没有实现影像山区的配准，影像还发生整体变形。

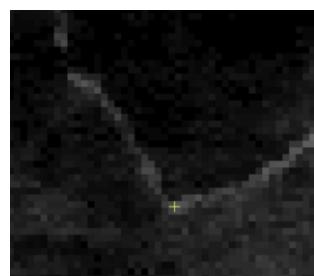


图 35 SPOT 影像位置

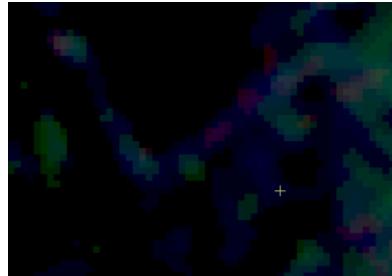


图 36 校正后 TM 影像位置

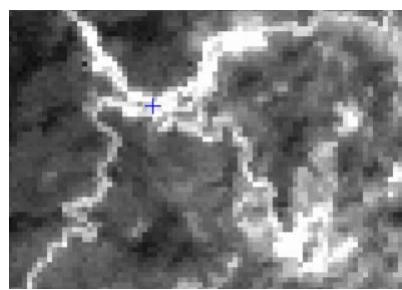


图 37 SPOT 影像位置



图 38 校正后 TM 影像位置

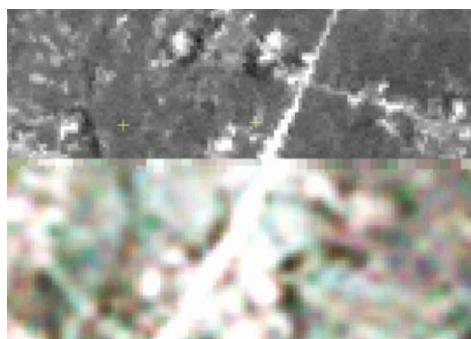


图 37 影像边缘道路 a

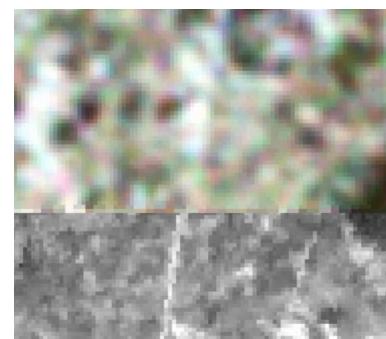


图 38 影像边缘道路 b

9. 不同校正方式像元直方图对比 (真彩色合成)

表 8 不同校正方式像元直方图对比 (真彩色合成、误差 0.1、20 个 GCP、99 年 TM)

	原始 TM	Nearest	Billinear	Cubic																																																
B1	 <p>Statistics</p> <table border="1"> <tr><td>Current count: 0</td><td>Mode value: 34,00000</td></tr> <tr><td>Number of pixels: 12000000</td><td>Median value: 34</td></tr> <tr><td>Min value: 0</td><td>Standard deviation: 11,294</td></tr> <tr><td>Max value: 67</td><td>Range value: 67</td></tr> <tr><td>Find Count: Min 0 Max 67</td><td>Fix aspect ratio: Background</td></tr> <tr><td>Find Count: Min 0 Max 67</td><td>Background:</td></tr> </table>	Current count: 0	Mode value: 34,00000	Number of pixels: 12000000	Median value: 34	Min value: 0	Standard deviation: 11,294	Max value: 67	Range value: 67	Find Count: Min 0 Max 67	Fix aspect ratio: Background	Find Count: Min 0 Max 67	Background:	 <p>Statistics</p> <table border="1"> <tr><td>Current count: 1</td><td>Mode value: 34,00000</td></tr> <tr><td>Number of pixels: 12000000</td><td>Median value: 34</td></tr> <tr><td>Min value: 0</td><td>Standard deviation: 11,294</td></tr> <tr><td>Max value: 67</td><td>Range value: 67</td></tr> <tr><td>Find Count: Min 0 Max 67</td><td>Fix aspect ratio: Background</td></tr> <tr><td>Find Count: Min 0 Max 67</td><td>Background:</td></tr> </table>	Current count: 1	Mode value: 34,00000	Number of pixels: 12000000	Median value: 34	Min value: 0	Standard deviation: 11,294	Max value: 67	Range value: 67	Find Count: Min 0 Max 67	Fix aspect ratio: Background	Find Count: Min 0 Max 67	Background:	 <p>Statistics</p> <table border="1"> <tr><td>Current count: 0</td><td>Mode value: 34,00000</td></tr> <tr><td>Number of pixels: 12000000</td><td>Median value: 34</td></tr> <tr><td>Min value: 0</td><td>Standard deviation: 11,294</td></tr> <tr><td>Max value: 67</td><td>Range value: 67</td></tr> <tr><td>Find Count: Min 0 Max 67</td><td>Fix aspect ratio: Background</td></tr> <tr><td>Find Count: Min 0 Max 67</td><td>Background:</td></tr> </table>	Current count: 0	Mode value: 34,00000	Number of pixels: 12000000	Median value: 34	Min value: 0	Standard deviation: 11,294	Max value: 67	Range value: 67	Find Count: Min 0 Max 67	Fix aspect ratio: Background	Find Count: Min 0 Max 67	Background:	 <p>Statistics</p> <table border="1"> <tr><td>Current count: 0</td><td>Mode value: 34,00000</td></tr> <tr><td>Number of pixels: 12000000</td><td>Median value: 34</td></tr> <tr><td>Min value: 0</td><td>Standard deviation: 11,294</td></tr> <tr><td>Max value: 67</td><td>Range value: 67</td></tr> <tr><td>Find Count: Min 0 Max 67</td><td>Fix aspect ratio: Background</td></tr> <tr><td>Find Count: Min 0 Max 67</td><td>Background:</td></tr> </table>	Current count: 0	Mode value: 34,00000	Number of pixels: 12000000	Median value: 34	Min value: 0	Standard deviation: 11,294	Max value: 67	Range value: 67	Find Count: Min 0 Max 67	Fix aspect ratio: Background	Find Count: Min 0 Max 67	Background:
Current count: 0	Mode value: 34,00000																																																			
Number of pixels: 12000000	Median value: 34																																																			
Min value: 0	Standard deviation: 11,294																																																			
Max value: 67	Range value: 67																																																			
Find Count: Min 0 Max 67	Fix aspect ratio: Background																																																			
Find Count: Min 0 Max 67	Background:																																																			
Current count: 1	Mode value: 34,00000																																																			
Number of pixels: 12000000	Median value: 34																																																			
Min value: 0	Standard deviation: 11,294																																																			
Max value: 67	Range value: 67																																																			
Find Count: Min 0 Max 67	Fix aspect ratio: Background																																																			
Find Count: Min 0 Max 67	Background:																																																			
Current count: 0	Mode value: 34,00000																																																			
Number of pixels: 12000000	Median value: 34																																																			
Min value: 0	Standard deviation: 11,294																																																			
Max value: 67	Range value: 67																																																			
Find Count: Min 0 Max 67	Fix aspect ratio: Background																																																			
Find Count: Min 0 Max 67	Background:																																																			
Current count: 0	Mode value: 34,00000																																																			
Number of pixels: 12000000	Median value: 34																																																			
Min value: 0	Standard deviation: 11,294																																																			
Max value: 67	Range value: 67																																																			
Find Count: Min 0 Max 67	Fix aspect ratio: Background																																																			
Find Count: Min 0 Max 67	Background:																																																			
B2	 <p>Statistics</p> <table border="1"> <tr><td>Current count: 1</td><td>Mode value: 34,00000</td></tr> <tr><td>Number of pixels: 12000000</td><td>Median value: 34</td></tr> <tr><td>Min value: 0</td><td>Standard deviation: 11,294</td></tr> <tr><td>Max value: 67</td><td>Range value: 67</td></tr> <tr><td>Find Count: Min 0 Max 67</td><td>Fix aspect ratio: Background</td></tr> <tr><td>Find Count: Min 0 Max 67</td><td>Background:</td></tr> </table>	Current count: 1	Mode value: 34,00000	Number of pixels: 12000000	Median value: 34	Min value: 0	Standard deviation: 11,294	Max value: 67	Range value: 67	Find Count: Min 0 Max 67	Fix aspect ratio: Background	Find Count: Min 0 Max 67	Background:	 <p>Statistics</p> <table border="1"> <tr><td>Current count: 1</td><td>Mode value: 34,00000</td></tr> <tr><td>Number of pixels: 12000000</td><td>Median value: 34</td></tr> <tr><td>Min value: 0</td><td>Standard deviation: 11,294</td></tr> <tr><td>Max value: 67</td><td>Range value: 67</td></tr> <tr><td>Find Count: Min 0 Max 67</td><td>Fix aspect ratio: Background</td></tr> <tr><td>Find Count: Min 0 Max 67</td><td>Background:</td></tr> </table>	Current count: 1	Mode value: 34,00000	Number of pixels: 12000000	Median value: 34	Min value: 0	Standard deviation: 11,294	Max value: 67	Range value: 67	Find Count: Min 0 Max 67	Fix aspect ratio: Background	Find Count: Min 0 Max 67	Background:	 <p>Statistics</p> <table border="1"> <tr><td>Current count: 0</td><td>Mode value: 34,00000</td></tr> <tr><td>Number of pixels: 12000000</td><td>Median value: 34</td></tr> <tr><td>Min value: 0</td><td>Standard deviation: 11,294</td></tr> <tr><td>Max value: 67</td><td>Range value: 67</td></tr> <tr><td>Find Count: Min 0 Max 67</td><td>Fix aspect ratio: Background</td></tr> <tr><td>Find Count: Min 0 Max 67</td><td>Background:</td></tr> </table>	Current count: 0	Mode value: 34,00000	Number of pixels: 12000000	Median value: 34	Min value: 0	Standard deviation: 11,294	Max value: 67	Range value: 67	Find Count: Min 0 Max 67	Fix aspect ratio: Background	Find Count: Min 0 Max 67	Background:	 <p>Statistics</p> <table border="1"> <tr><td>Current count: 0</td><td>Mode value: 34,00000</td></tr> <tr><td>Number of pixels: 12000000</td><td>Median value: 34</td></tr> <tr><td>Min value: 0</td><td>Standard deviation: 11,294</td></tr> <tr><td>Max value: 67</td><td>Range value: 67</td></tr> <tr><td>Find Count: Min 0 Max 67</td><td>Fix aspect ratio: Background</td></tr> <tr><td>Find Count: Min 0 Max 67</td><td>Background:</td></tr> </table>	Current count: 0	Mode value: 34,00000	Number of pixels: 12000000	Median value: 34	Min value: 0	Standard deviation: 11,294	Max value: 67	Range value: 67	Find Count: Min 0 Max 67	Fix aspect ratio: Background	Find Count: Min 0 Max 67	Background:
Current count: 1	Mode value: 34,00000																																																			
Number of pixels: 12000000	Median value: 34																																																			
Min value: 0	Standard deviation: 11,294																																																			
Max value: 67	Range value: 67																																																			
Find Count: Min 0 Max 67	Fix aspect ratio: Background																																																			
Find Count: Min 0 Max 67	Background:																																																			
Current count: 1	Mode value: 34,00000																																																			
Number of pixels: 12000000	Median value: 34																																																			
Min value: 0	Standard deviation: 11,294																																																			
Max value: 67	Range value: 67																																																			
Find Count: Min 0 Max 67	Fix aspect ratio: Background																																																			
Find Count: Min 0 Max 67	Background:																																																			
Current count: 0	Mode value: 34,00000																																																			
Number of pixels: 12000000	Median value: 34																																																			
Min value: 0	Standard deviation: 11,294																																																			
Max value: 67	Range value: 67																																																			
Find Count: Min 0 Max 67	Fix aspect ratio: Background																																																			
Find Count: Min 0 Max 67	Background:																																																			
Current count: 0	Mode value: 34,00000																																																			
Number of pixels: 12000000	Median value: 34																																																			
Min value: 0	Standard deviation: 11,294																																																			
Max value: 67	Range value: 67																																																			
Find Count: Min 0 Max 67	Fix aspect ratio: Background																																																			
Find Count: Min 0 Max 67	Background:																																																			
B3	 <p>Statistics</p> <table border="1"> <tr><td>Current count: 0</td><td>Mode value: 34,00000</td></tr> <tr><td>Number of pixels: 12000000</td><td>Median value: 34</td></tr> <tr><td>Min value: 0</td><td>Standard deviation: 11,294</td></tr> <tr><td>Max value: 67</td><td>Range value: 67</td></tr> <tr><td>Find Count: Min 0 Max 67</td><td>Fix aspect ratio: Background</td></tr> <tr><td>Find Count: Min 0 Max 67</td><td>Background:</td></tr> </table>	Current count: 0	Mode value: 34,00000	Number of pixels: 12000000	Median value: 34	Min value: 0	Standard deviation: 11,294	Max value: 67	Range value: 67	Find Count: Min 0 Max 67	Fix aspect ratio: Background	Find Count: Min 0 Max 67	Background:	 <p>Statistics</p> <table border="1"> <tr><td>Current count: 0</td><td>Mode value: 34,00000</td></tr> <tr><td>Number of pixels: 12000000</td><td>Median value: 34</td></tr> <tr><td>Min value: 0</td><td>Standard deviation: 11,294</td></tr> <tr><td>Max value: 67</td><td>Range value: 67</td></tr> <tr><td>Find Count: Min 0 Max 67</td><td>Fix aspect ratio: Background</td></tr> <tr><td>Find Count: Min 0 Max 67</td><td>Background:</td></tr> </table>	Current count: 0	Mode value: 34,00000	Number of pixels: 12000000	Median value: 34	Min value: 0	Standard deviation: 11,294	Max value: 67	Range value: 67	Find Count: Min 0 Max 67	Fix aspect ratio: Background	Find Count: Min 0 Max 67	Background:	 <p>Statistics</p> <table border="1"> <tr><td>Current count: 0</td><td>Mode value: 34,00000</td></tr> <tr><td>Number of pixels: 12000000</td><td>Median value: 34</td></tr> <tr><td>Min value: 0</td><td>Standard deviation: 11,294</td></tr> <tr><td>Max value: 67</td><td>Range value: 67</td></tr> <tr><td>Find Count: Min 0 Max 67</td><td>Fix aspect ratio: Background</td></tr> <tr><td>Find Count: Min 0 Max 67</td><td>Background:</td></tr> </table>	Current count: 0	Mode value: 34,00000	Number of pixels: 12000000	Median value: 34	Min value: 0	Standard deviation: 11,294	Max value: 67	Range value: 67	Find Count: Min 0 Max 67	Fix aspect ratio: Background	Find Count: Min 0 Max 67	Background:	 <p>Statistics</p> <table border="1"> <tr><td>Current count: 0</td><td>Mode value: 34,00000</td></tr> <tr><td>Number of pixels: 12000000</td><td>Median value: 34</td></tr> <tr><td>Min value: 0</td><td>Standard deviation: 11,294</td></tr> <tr><td>Max value: 67</td><td>Range value: 67</td></tr> <tr><td>Find Count: Min 0 Max 67</td><td>Fix aspect ratio: Background</td></tr> <tr><td>Find Count: Min 0 Max 67</td><td>Background:</td></tr> </table>	Current count: 0	Mode value: 34,00000	Number of pixels: 12000000	Median value: 34	Min value: 0	Standard deviation: 11,294	Max value: 67	Range value: 67	Find Count: Min 0 Max 67	Fix aspect ratio: Background	Find Count: Min 0 Max 67	Background:
Current count: 0	Mode value: 34,00000																																																			
Number of pixels: 12000000	Median value: 34																																																			
Min value: 0	Standard deviation: 11,294																																																			
Max value: 67	Range value: 67																																																			
Find Count: Min 0 Max 67	Fix aspect ratio: Background																																																			
Find Count: Min 0 Max 67	Background:																																																			
Current count: 0	Mode value: 34,00000																																																			
Number of pixels: 12000000	Median value: 34																																																			
Min value: 0	Standard deviation: 11,294																																																			
Max value: 67	Range value: 67																																																			
Find Count: Min 0 Max 67	Fix aspect ratio: Background																																																			
Find Count: Min 0 Max 67	Background:																																																			
Current count: 0	Mode value: 34,00000																																																			
Number of pixels: 12000000	Median value: 34																																																			
Min value: 0	Standard deviation: 11,294																																																			
Max value: 67	Range value: 67																																																			
Find Count: Min 0 Max 67	Fix aspect ratio: Background																																																			
Find Count: Min 0 Max 67	Background:																																																			
Current count: 0	Mode value: 34,00000																																																			
Number of pixels: 12000000	Median value: 34																																																			
Min value: 0	Standard deviation: 11,294																																																			
Max value: 67	Range value: 67																																																			
Find Count: Min 0 Max 67	Fix aspect ratio: Background																																																			
Find Count: Min 0 Max 67	Background:																																																			

七、分析与讨论

不同重采样方法影响校正图像亮度结果。本次实验一共利用 20 个控制点在 0.1 的误差下对影像进行三种不同重采样方式进行校正对比。三种重采样方式均可以很好的进行图像配准, 如表 4 所示。但是最邻近法重采样后相邻像元亮度具有跳跃性, 整体影像从视觉上看马赛克明显, 并且出现锯齿状; 而双线性内插法和三次卷积法图像像元显得过渡比较细腻均匀, 但是双线性内插具有低频滤波的性质, 影像地物边缘部分被模糊化; 三次卷积法则可以较好的保存边缘特征, 细节表现更加准确, 如表 7 所示。但是通过统计校正后 123 波段的灰度直方图发现, 三次卷积法除了 B2 绿波段, 在 B1 蓝波段、B3 红波段灰度直方图均与原始影像直方图发生较大的变化, 而最邻近法和双线性内插均较好匹配了原始 TM 影像在 123 波段的灰度直方图。

控制点的分布、数量和误差影响着校正结果。不同配准精度下相同采样方法的对比, 结果如表 5 和表 6 所示。一共选取 65 个点, 其中误差 0.1, 控制点 20 个; 误差 0.2; 控制点 32 个; 误差 0.3, 控制点 42 个; 误差 0.4, 控制点 51 个; 误差 0.49, 控制点 58 个, 重采样方式均为三次卷积法。由于控制点的选取绝大部分位于道路上, 因此不同误差模式下, TM 影像和 SPOT 影像道路匹配程度都非常高, 但是在山区地带, 或多或少的存在一定变形。从山区变形最小来看, 误差为 0.2, 控制点为 2 个时, 山区变形较小; 当控制点增多、误差增大时候, 山区校正结果也不如 0.2 误差下的校正结果。通过观测控制点可以发现, 0.2 误差下的控制点比 0.1 误差下的控制点在影像图四周的控制点相差不大, 但是中部的控制点有了增加, 从而从整体上控制了整张影像的变形, 而之后 0.3、0.4、0.49 误差下的控制点几乎是在 0.2 误差下控制点的基础上在其周围增加。因此, 误差的减小与控制点的增多并不意味着校正精度提高, 考虑控制点的选择、分布和数量同时制约着校正结果的好坏。

必须从整体上把握校正精度。不考虑误差, 添加更多的山区河流控制点, 在山区河流处添加了 10 个控制点, 此时有 75 个控制点, 此时误差值达到 2.08。把所有控制点都作为校正依据, 影像校正后产生了整体变形, 如图 35~38 所示。

遥感图像的几何校正效果分析与评价, 应该从两方面进行评价, 一方面是从几何校正的机理上进行评价, 既是控制点的选择、分布、数量, 误差值是否满足校正的需求, 大体上把握几何校正运算过程中的精确度; 另一方面是通过校正后的效果进行对比, 影像配准是否满足预计的效果。

此次实验仅仅把 SPOT 当作标准影像对 TM 影像进行几何配准, 但是 SPOT 本身存在变形, 后续要进行更高精度的几何配准需要利用地形图作为标准影像进行配准。