

高等学校教学参考书

摄影测量学

上册

H·M·阿列克萨波夫斯基编著

叶则正 朱琳元 译

古振今 校



中国工业出版社

本书叙述了航摄像片的几何与物理特性及其在航测中象片纠正的应用。本书内容有：摄影测量历史的简述，中心投影的光学原理，投影几何的基础知识，航摄像片的几何与物理分析，未经纠正的航摄像片的使用方法，航摄像片纠正的理论，纠正仪与纠正方法等。

本书供高等测绘学校航测专业学生作为教科书之用。对工程师、研究生、教师与科学工作者也有很大的参考价值。

Н. М. Алексапольский

ФОТОГРАММЕТРИЯ

Часть I

Геодезиздат

• 1956 •

* * *

摄影测量学

上册

叶则正 朱琳元 译

古振今 校

*

国家测绘总局测绘书刊编辑部编辑（北京三里河国家测绘总局）

中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）

（北京市书刊出版事业许可证出字第110号）

北京市印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 $16\frac{1}{4}$ · 字数 415,000

1963年3月北京第一版·1963年3月北京第一次印刷

印数 0001—1200 · 定价（10-7）2.70 元

*

统一书号：15165·2033（测绘-59）

前 言

这本著作，是苏維埃摄影测量学奠基人之一——俄罗斯苏維埃联邦社会主义共和国功勳科学技术活动家，尼科拉依·米哈伊洛維契·阿列克薩波爾斯基教授多年以来卓有成效地从事于科学活动、生产和教学活动所获得的成果。

本书共分上下两册，均系按 H. M. 阿列克薩波爾斯基所編的提綱集体写成。

上册包括四篇。第一篇叙述了摄影测量学定义；摄影测量学的发展簡史；以及光学和航空摄影测量最主要的概念。第二篇引述了直綫透視学理論的基本原理，并研究了航摄像片的几何特性和物理特性，以及測定航摄像片外定向元素的一些方法。第三篇叙述了用最簡單的技术工具完成各种近似垂直航摄像片的地物航空摄影测量的任务。第四篇論述航摄像片糾正的理論根据和实践。

上册中除去第十六章和 §35 外，均系 H. M. 阿列克薩波爾斯基所写。第十六章《光学图解糾正法和图解机械糾正法》系由 H. C. 格拉西莫夫讲师所写，而 §35 是由科学技术碩士 O. A. 格拉西莫娃写成。

下册（另行出版）系論述平面控制测量的摄影测量加密法，以及用摄影测量的方法編制和修改地形图的技术操作方案。这一部分是由副教授 И. P. 查伊托夫和科学技术碩士 H. П. 科热夫尼科夫写成。

因而，这一著作就包括了航空摄影测量綜合法中的各种問題。

历史簡述是研究摄影测量从产生时起直到今天为止的发展情况。在簡述中作者分析了历史資料，并对决定各阶段摄影测量发展方向的一些原因也作了說明。

摄影测量学中的基本公式，是利用地面点和象点的投影关系所导出来的。較之其它沒有提及投影几何的教科书來說，本书的这一特点能使人們更深入地了解航摄像片的几何特性。

作者对于航摄像片的几何分析和物理分析以及糾正理論的一系列問題創造性地进行了研究，并且是第一次公开发表。

这一著作在各方面都超越了教科书或教学参考书的范围，所以它一定会为所有从事摄影测量学理論和实际工作的人們带来极大好处。

М. Д. 康新教授和 Н. Я. 波比尔副教授在評論本书时所提出的希望和意見，在上册准备出版时均已一一加以顾及。

我认为有必要提出，Н. С. 格拉西莫夫在准备印刷上册文稿时做了許多工作。文稿中的插图是由З. И. 利沃娃助教根据Н. М. 阿列克薩波爾斯基和 Н. С. 格拉西莫夫的草图所繪制。

教授 А. 罗巴諾夫

目 录

前 言

第一篇 一般部分

第一章 摄影测量学的对象与任务	1
§ 1. 摄影测量学和立体摄影测量学的概念	1
§ 2. 摄影测量和立体摄影测量的种类及摄影测量学教程的任务	2
§ 3. 地物航空测量和地物综合航空测量的实质	6
§ 4. 摄影测量的作用 and 意义	11
第二章 摄影测量学发展史的简述	13
§ 5. 摄影测量学发展的初期	13
§ 6. 从十九世纪末叶到第一次世界大战开始时摄影测量的发展	19
§ 7. 第一次世界大战时期(1914—1918)摄影测量的发展	23
§ 8. 国内战争及和平建设时期	27
第三章 中心投影的光学原理	37
§ 9. 理想光学系统中的光路、光学影象的构成	37
§ 10. 光学共轭点之间的坐标关系。光学的基本公式	40
§ 11. 摄影物镜	48
§ 12. 摄影物镜构象的物方景深	54
§ 13. 航空摄影中所采用的摄影镜箱的光学结构图	56
§ 14. 主距和摄影测量畸变差的测定	62
§ 15. 航摄像片的主点和内定向元素	64
第四章 航空摄影工作	66
§ 16. 航摄仪	66
§ 17. 露光时间的几何解释	71
§ 18. 进行近似垂直航空摄影所用的数据的计算	73
§ 19. 飞机领航学	78
§ 20. 摄影高度	83
§ 21. 航空摄影工作成果的评定	89

第二篇 航摄像片的分析

第五章 透視理論的主要定义和原理	94
§ 22. 直线和点的影象、平面的透視对应	94
§ 23. 透視对应平面上各点平面座标之間的关系	101
§ 24. 透視对应平面的极限位置(透視对应)	103
§ 25. 透視对应平面上各点空間座标之間的关系	109
第六章 航摄像片的几何分析	118
§ 26. 地面点与航摄像片点的平面座标之間的关系、 外定向元素	118
§ 27. 航摄像片的比例尺	125
§ 28. 航摄像片的傾斜角对地物点位置 and 比例尺的影响	133
§ 29. 航摄像片的傾斜角对方向线偏差的影响	139
§ 30. 决定航摄像片和平面图上透視对应方向线的角度 ω 与 ω' 之間的关系	143
§ 31. 地形起伏对航摄像片上地物点位置的影响	144
§ 32. δ_a 和 δ_h 值的比較	150
§ 33. 地形起伏对方向线偏差的影响	153
§ 34. 近似垂直航空摄影时 α 和 h 对地物点位置及方向线 偏差的影响	157
第七章 航摄像片依物理观点的分析	160
§ 35. 航摄像片的分解力	160
§ 36. 地球曲率对航摄像片象点位置的影响	170
§ 37. 大气折光差对航摄像片象点位置的影响	174
§ 38. 地球曲率和大气折光差对航摄像片上象点位置的 共同影响	179
§ 39. 摄影感光材料的变形	180
§ 40. 摄影感光材料变形的数值	183
§ 41. 摄影材料的变形对方向线的影响	186
§ 42. 航摄鏡箱中物鏡安裝的誤差对光学影象质量的影响	188
§ 43. 干板的感光层或航摄軟片沒有在安片框平面上完全压平 所引起的影象变形	192
第八章 测定外定向元素的几种特殊情况	193
§ 44. 傾斜航摄像片上主纵线的近似测定	193

§ 45. 根据視地平线确定 α 角及航摄影片上主纵线的位置	199
§ 46. 在近似垂直航空摄影时根据視地平线测定航摄影片的 倾斜角及主纵线的方向	214
§ 47. 根据視地平线测定航摄影片倾斜角的精度	219

第三篇 根据近似垂直航摄影片解决

地物航空测量的問題

第九章 地面点平面位置的确定

§ 48. 近似垂直航摄影片上以主点为頂的中心角的变形	224
§ 49. 中心角 γ 的辐射方向线之測定誤差	229
§ 50. γ 角的中誤差和方向线的中誤差	231
§ 51. 用前方交会法确定地面上地物点的平面位置	234
§ 52. 航摄影片上起始方向线的确定	236
§ 53. 前方交会的精度	238
§ 54. 按规定比例尺测定地面地物点及航摄影片主点相应点的 平面位置	243
§ 55. 确定以主点附近的地物点作为 γ 角頂点的条件	245

第十章 未經糾正的近似垂直航摄影片或其个别部分

作为平面图的应用

§ 56. 近似垂直航摄影片之有效面积及象片上可以作为平面图 使用的部分	248
§ 57. 未經糾正的近似垂直航摄影片的縮放	264
§ 58. 根据未經糾正的近似垂直航摄影片测定地面上地物点 之間的距离	272
§ 59. 根据未經糾正的近似垂直航摄影片測量面积	277
§ 60. 象片略图	282

第十一章 应用航摄影片和平面图相互投影的特性

测定地面上地物点的平面位置

§ 61. 平面图和航摄影片是投影对应的平面	287
§ 62. 四点問題	293
§ 63. 用前方投影交会法确定地面上地物点的平面位置	296
§ 64. 定向点的确定	297
§ 65. 利用投影对应格网将航摄影片上的地物轉繪到平面图上 ...	299

- § 66. 用前方交会法和把航摄像片的地物轉繪至平面图的方法
来确定地面上地物点平面位置的差別 301
- § 67. 放大的近似垂直航摄像片及其在地物航空測量中的应用 ... 302

第四篇 航摄像片的糾正

第十二章 航摄像片糾正的一般概念。图解糾正法..... 306

- § 68. 航摄像片糾正的概念 306
- § 69. 航摄像片糾正的方法 308
- § 70. 根据定向点图解糾正航摄像片 309
- § 71. 根据內、外定向元素图解糾正航摄像片 315

第十三章 糾正仪的构造原理及其操作原理 317

- § 72. 航摄像片糾正的几何条件 317
- § 73. 糾正的 optical 条件 322
- § 74. 同时要滿足 optical 条件的情况下在糾正仪上进行糾正的
几何条件 324
- § 75. 关于糾正仪結構軸和糾正系数的概念 328
- § 76. 二个透視对应点的 optical 共軛。糾正仪的物鏡 330
- § 77. 糾正仪的分类 336

第十四章 糾正仪 338

- § 78. ФТБ 型糾正仪 338
- § 79. ФТБ 型糾正仪的校正 354
- § 80. МГИ 糾正仪 357
- § 81. МГИ 糾正仪的校正 374
- § 82. ФТМ 型糾正仪 379
- § 83. ФТМ 型糾正仪的校正 403
- § 84. П. П. 薩科洛夫教授所制的糾正仪 405
- § 85. 关于其他一些糾正仪的評論 412
- § 86. Т-3-А 展象仪 418

第十五章 根据安置元素及定向点的航摄像片的

光学机械糾正 424

- § 87. 根据安置元素糾正航摄像片 424
- § 88. 根据定向点糾正航摄像片 426
- § 89. 定向点位置的測定誤差对糾正精度的影响 433
- § 90. 定向点在航摄像片上的位置 438

§ 91. 其他影响纠正精度的原因	444
§ 92. 航摄像片的纠正方法及技术	463
§ 93. 反光法纠正航摄像片	475
第十六章 光学图解纠正法和图解机械纠正法	476
§ 94. 光学图解纠正法	476
§ 95. 图解机械纠正法	488
§ 96. 航摄像片的分带纠正	495
§ 97. 航摄像片的分部纠正	505
参考文献	508

第一篇 一般部分

第一章 摄影测量学的对象与任务

§ 1. 摄影测量学和立体摄影测量学的概念

摄影测量学或量测摄影学的任务，是通过研究和量测地物的摄影影像，来确定地物的平面或空间的形状和大小，而不直接量测地物本身。也就是说，它是确定被摄地物平面的形状和大小，或者是确定被摄地物空间的形状和大小。

根据二张摄有地物影像的象片的几何特性和物理特性，这两项任务都能最圆满地完成。这样的一对象片叫做立体象对。如用航摄影从空中对地面进行摄影，仅根据单张象片的几何特性和物理特性而不利用立体象对，那末就只能比较简单地完成摄影测量学的第一个任务。

研究单张象片的几何和物理特性，以及利用这些特性来完成第一项任务的方法被称为摄影测量学，而完成第二项任务的方法被称为立体摄影测量学。

摄影测量学这个名词，起源于三个希腊字：photos—光，gramma—记录 and metreo—测量。立体摄影测量学的名词则起源于四个希腊字，其中三个就是前面所讲的，而第四个希腊字是Stereos，它表示空间的意思。这个字常用来构成与三度空间概念有关的名词，例如大家都知道几何学中有一个研究空间图形的部分叫做立体几何。

按照测绘工程学院航空摄影测量专业教学计划中所采用的术语，本教程便叫做摄影测量学。严格地说，把它称为航空摄影测量学或航空摄影地形测量学更为正确，因为采用对地面进行摄影的“摄影测量学”的术语时是指完成第一项任务，仅含有研究单张

象片几何特性的意义。

立体摄影测量和摄影测量的某些部分，在科学和技术的各种领域内都被广泛地使用着；但使用摄影测量和立体摄影测量最多的，还是在测量方面。

§ 2. 摄影测量和立体摄影测量的

种类及摄影测量学教程的任务

由于我国制图工作中广泛地运用了摄影测量和立体摄影测量，所以目前我们进行着各式各样的以单张象片或立体象对的几何特性和物理特性为基础的测量工作。

如果测量的结果，是要获得一张只有被摄地面的地物（没有地貌）平面图或地图，就可以采用摄影测量，我们称它为地物航空测量。地物航空测量的最后成果是一张以地物符号来表示的图解平面图，或者是一张象片平面图①。

如果要获得一张不仅有地物，而且还有地貌的平面图。就要采用下列各种测量方法：

1) 地物综合测量 地物图解平面图或象片平面图是用地物航空测量的方法进行测绘，而地貌则用平板测量的方法测绘于平面图或象片平面图上；

2) 高程航空测量的微分法 用立体摄影测量的方法将地貌描绘在航摄像片上，而后再用摄影测量的方法把地物或等高线由航摄像片转绘于一定比例尺的平面图上；

3) 立体摄影测量 它具有全能性的特点，立体摄影测量的结果，可以在平面图上获得被摄地面的地物和地貌。立体摄影测量是用全能的高程航空测量和通常被称为摄影经纬仪测量的地面立体摄影测量的方法进行测绘。前者从飞机上对被摄地面进行摄影，而后者则用摄影经纬仪从地面各点进行摄影②。

上述各种测量的每一种方法，都包括以下各种工作的综合：

① 象片平面图也能满足对图解平面图所提出的几何要求。

② 用来对地面进行摄影和进行野外经纬仪测量的仪器，叫做摄影经纬仪。

1)对地面进行摄影, 2)野外测量工作, 3)摄影测量和立体摄影测量工作, 4)判讀。在这些工作的綜合中, 摄影测量和立体摄影测量的工作又对航空摄影和野外测量工作起主导作用, 好象这二者把各种工作結合成为一个整体。

在地物航空测量中起决定和主导作用的, 是摄影测量工作。但这并不是說, 在地物航空测量中根本不采用立体摄影测量或以为沒有任何意义。进行地物航空测量时, 如果有一些地面高差相当大地区, 那末最好还是采用一些立体摄影测量的方法。但在这些場合下, 起主导作用的仍属摄影测量方法。

在高程航空测量的微分法中, 無論是立体摄影测量的作业方法, 或是摄影测量的作业方法都起很大作用。而在高程航空测量的全能法中, 則起主要作用的只有立体摄影测量的作业方法。

目前, 主要的方式是从飞机上对地面进行摄影。从飞机上进行摄影, 或称为航空摄影, 是以航摄影光軸尽可能接近鉛垂綫时进行摄影为最好。这时的航空摄影叫做近似垂直摄影, 而由近似垂直摄影所摄得的象片, 叫做近似垂直摄影的航摄像片。

进行近似垂直摄影的主要工作, 見述于后。在供飞行用的航行图上應該进行摄影的地区范围内, 划出許多互相平行的直綫航綫, 以后, 飞机便要以預先規定的一定高度沿这些航綫飞行。飞行时, 每隔一定的時間間隔进行一次摄影。所規定的前后二次摄影的時間間隔, 应保證相邻的近似垂直航摄像片彼此在航向上約有60%的重叠(見图 1)。

每一航綫的近似垂直航摄像片, 可以按象片相互重叠部分的地物彼此联接(鑲嵌)。这样就构成了摄影航綫。航綫与航綫之間的距离, 应保證航綫相互重叠30—40%。这种航空摄影, 既能滿足摄影测量的要求, 也能滿足立体摄影测量的要求。

立体摄影测量工作, 要求整个被摄地区全部都能摄取, 而在組成立体象对的航摄像片相互重叠部分沒有漏洞。航綫中任何二张相邻航摄像片, 都可以看作是一个立体象对。二张相邻航摄像片的相互重叠部分內, 前一张航摄像片上的每一个地物点, 都与

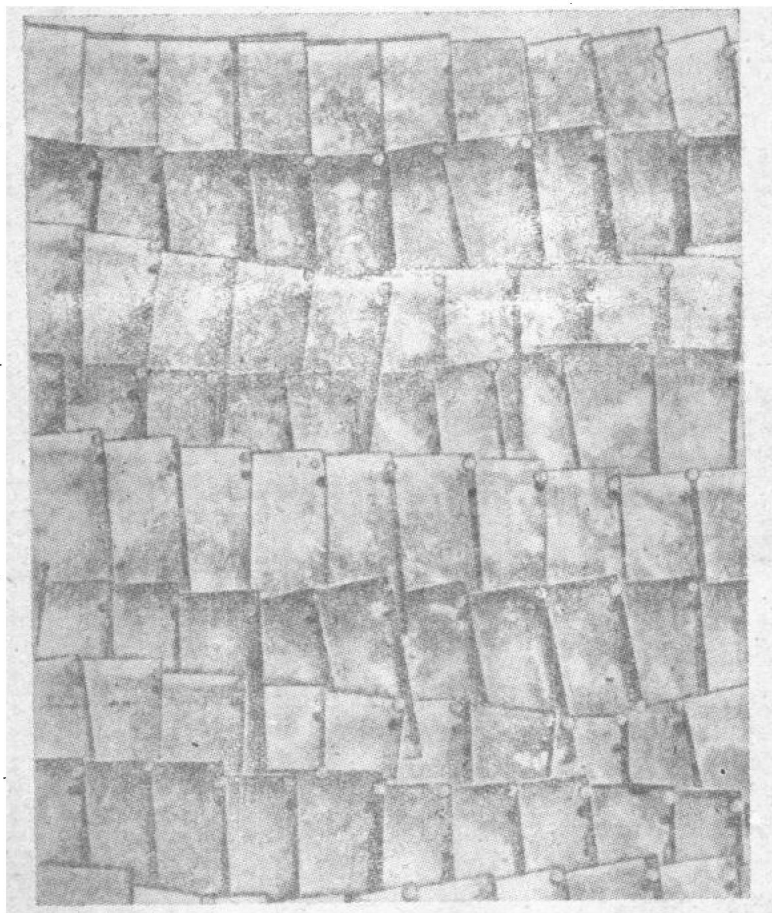


图 1

相邻航摄像片上的同名点相对应。

所以，如果每一航线中相邻航摄像片重叠60%，并且航线之间没有漏洞，则地面的任一地物点至少能在二张组成立体象对的相邻航摄像片上构成象点。立体摄影测量的任务之一，就是如何以及在什么条件下可以根据立体象对的同名点来测定相应地面点的空间位置。

摄影经纬仪测量的摄影过程及其结果，则完全是另一种情

形。在摄影經緯仪測量时，摄影机固定在脚架上不动，摄影机光軸則严格地处于水平位置，而不象近似垂直航空摄影測量它的光軸是近似垂直的①。

由于上面指出的特点，所以在摄影經緯仪測量时方位元素是用仪器来測定的，而且精度很高，但在航空摄影測量时則暂时还没有做到这一点。从透視理論中可以看出，在进行測定被摄物体的形状和大小来完成各种任务时，方位元素具有何等重大的意义。

在摄影測量和立体摄影測量中，进行野外測量工作都是为了測定野外控制点。但所采用的各种不同形式的野外測量工作，都各有自己的特点。

例如在进行地物綜合航空摄影測量时，野外測量工作不仅包括測量控制点工作，而且还包括了測繪地貌的工作；摄影經緯仪測量則用野外測量来測定野外控制点的空間坐标和摄影机物鏡的空間坐标②。

判讀的实质如下述。

航摄影片上被摄地物的平面或空間位置，是用摄影測量和立体摄影測量的方法来确定的。当然，光这样說是不够的。还必须說明另一个意思——被摄地物的內容。确定航摄影片上被摄地物內容的过程，叫做判讀。

在航摄影片上构象的有許多各不相同的地物；其中有一些对地形測量具有用，而有一些則对其他专业人員具有用。因此，判讀就分为地形判讀和专业判讀。地形判讀，是在单张的航摄影片上、象片平面图上或图解平面图上确定或者仅是确定某些对地形測量有意义的地物內容（居民点、道路、河流、冲沟等）。专业判讀則是确定那些对某种专业能有这种或那种用处的被摄地物的內容（如农业或林业方面的专业人員所使用的）。专业判讀必須

① 我們指的是摄影的基本情况。在个别場合下从飞机上摄影，也可能是把摄影机光軸安放为与鉛垂綫成一定的预先规定的傾斜角度而进行摄影的。摄影經緯仪測量时，在个别情況下也同样可能把摄影机光軸安放为傾斜位置进行摄影，而不仅是处在水平位置才进行摄影。

② 为此，要把經緯仪安置在脚架上，而在摄影时摄影机就被装在这个脚架上。

由具有該方面專業知識的人員來進行。軍事判讀也可以說是屬於專業判讀的，它僅在航攝象片上確定各種有軍事意義的被攝物體內容（火力點、交通路線、鐵絲網等）。

此外，地形判讀和專業判讀根據它進行的方法不同，又有室內判讀與野外判讀之分。室內判讀是通過對航攝象片進行室內考查來確定被攝地物內容的，而野外判讀，確定被攝地物的內容則僅使用把這些地物影象與實地相應地物進行對照的方法。實際作業時常採用綜合判讀方法，也就是一部分是用室內的方法判讀，而另一部分則用野外的方法判讀。在荒僻地區測圖時，則室內判讀起主要作用。

攝影測量學教程是研究攝影測量的作業方法，也就是研究地物航空測量和地物綜合航空測量。

現在我們就比較詳細的來說明地物航空測量和地物綜合航空測量的實質。

§ 3. 地物航空測量和地物綜合航空測量的實質

地物航空測量 進行地物航空測量時，在某些情況下不僅採

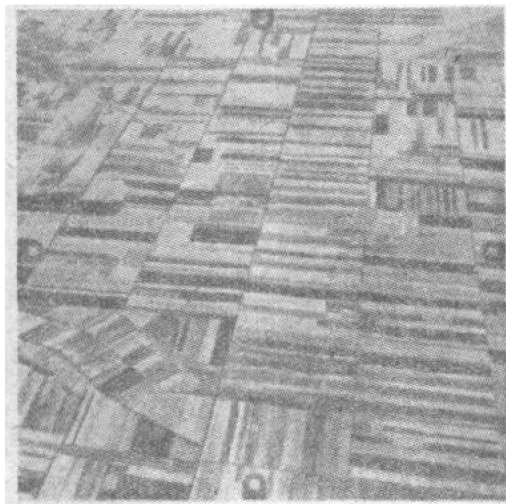


圖 2

用近似垂直航空攝影，而且也採用把航攝儀光軸安放在與鉛垂綫成一個預先規定的傾斜角度 α 的傾斜航空攝影。由傾斜航空攝影所獲得的象片，叫做傾斜航攝象片（見圖 2）。

在傾斜航攝象片上，從一個地物點到另一個地物點的象比例尺是不斷地變化

的。至于近似垂直航摄像片，那也只是假定地称它为近似垂直，而实质上它也是一种倾斜航摄像片。它的象比例尺，从一个地物点到另一个地物点也是变化着的，只不过这种变化并不象倾斜航摄像片比例尺变化那样明显而已。

由透視理論可以知道，航摄像片是被摄地面的中心投影，而且，如果摄影时航摄影光軸不是处于近似垂直而是处于严密垂直位置($\alpha=0$)，且被摄地面是水平的，則航摄像片将是被摄地面的平面图^①。但在一般情况这些条件是无法保持的。因此，近似垂直航摄像片和倾斜航摄像片必須进行改变，使它成为能与固定比例尺平面图相当的中心投影。一个中心投影的类似变换过程，叫做航摄像片的糾正。对这过程进行研究，是完成摄影测量学教程重要任务之一。

航摄像片的糾正，可采用各种各样的方法。在地物航空测量中使用得最普遍的，是使用专门仪器的光学机械糾正法。经过光学机械糾正的結果，中心投影所获得的地面的摄影影象，称之为已糾正的航摄像片(见图3)。

如果航摄像片用其它方法进行糾正，則经过变换后的中心投影是一张图解平面图，图上被摄地面的地物，都用地形符号来表示。

我們在研究糾正理論時可以看出，在被糾正的航摄像片上至少要測定四个地面地物点的平面位置，而且这四个点又都必須在被糾正的象片上构成象点。測定供糾正用的地面地物点的平面位置，可以用野外测量的方法来完成(大比例尺航空摄影测量的特殊情况)。对于地物航空测量，这些工作通常是用摄影测量的方法来完成的，而有时也使用立体摄影测量的方法。

用摄影测量的方法在平面图上測定相当稠密的控制点网，这不仅供糾正航摄像片之用，同时也是为了把許多象片連接成为一个整体。連接糾正航摄像片的过程，叫做航摄像片的鑲嵌。若干

① 平面图的特点是一个地物点与另一地物点之間的象比例尺固定不变。

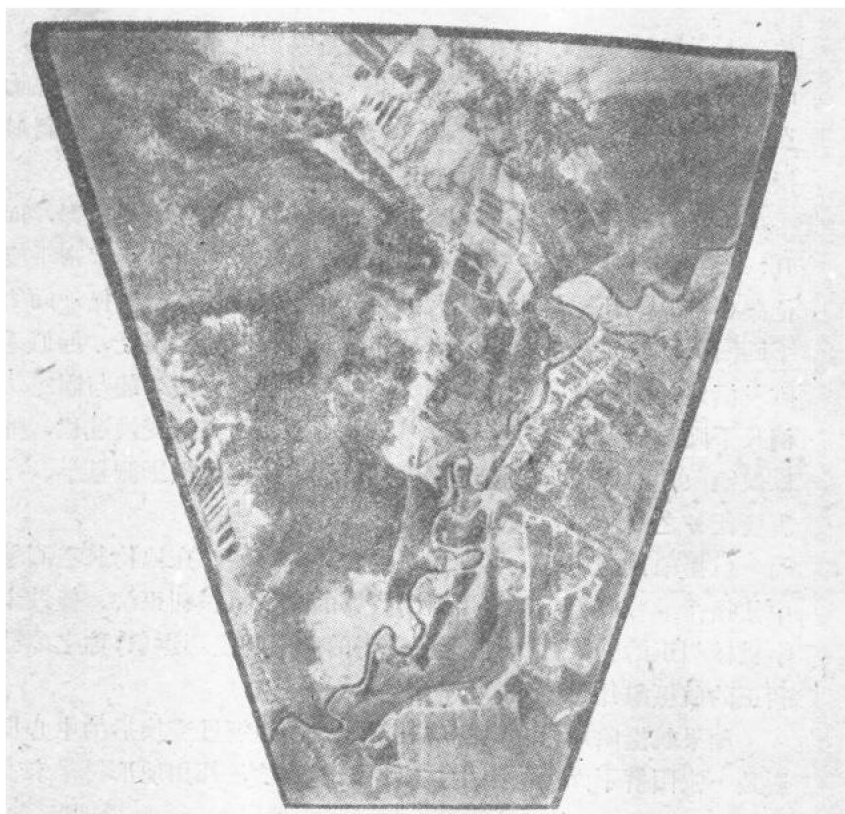


图 3

已纠正的航摄像片镶嵌在一起就成为象片平面图(见图4)。如果地物航空测量采用其它纠正方法进行航摄像片的纠正,则所得到的不是象片平面图,而是图解平面图。如果要使象片平面图或图解平面图能达到所需精度,并按事先规定的比例尺来制图,那就需要在野外进行控制测量来测定点位,以作为构造辐射三角网或象片导线网的依据。这种点叫做控制点。

地物综合航空测量 前面已经讲过,进行地物综合航空测量时,地物是根据单张象片测定的,而地貌则是用平板仪来测绘的。测绘地貌,既可以在固定比例尺的象片平面图上进行(第一种情况),又可以在自由比例尺的象片平面图的某一部分上进行(第