

測繪新技術專輯

第一輯

無線電測距法

測繪出版社

測繪新技術專輯

第一輯

無線電測距法

測繪出版社

(1959·北京)

測繪新技術專號

第一輯

無線電測距法

編者 測繪出版社

出版者 測繪出版社

北京宣武門外永光寺西街3号

北京市書刊出版業營業許可證出字第21号

發行者 新華書店

印刷者 崇文印刷廠

北京崇文門外觀樺市15号

印數(京) 1—2200

開本 31"×43" 1/25

字數: 11,4000

定價(18) 050 元

1959年1月北京第1版

1959年1月第1次印刷

印張 5 $\frac{1}{2}$

編 者 的 話

在這本小冊子里，我們向大家介紹了十一篇有關無線電測距方面的文章。目的是想在這偉大的文化革命與技術革命中幫助大家了解一下測繪科學中的新技術，供大家參考。

本書是我們要出版的測繪新技術專輯之一，此外，如“視差導綫測量”、“綫形三角鎖測量”等亦將陸續與大家見面。編入本書的文章，系轉載“測繪通報”、“測量制圖譯報”等刊物，謹向原出版單位和作譯者致謝。

1958. 8. 26

目 录

国外无线电测距工作概述.....	5
外国大地测量中所采用的无线电定位仪测距法.....	19
雷达测量法简介.....	34
雷达三角测量.....	39
关于利用无线电导航系统的远距离测量.....	43
光速测距仪.....	65
光速测距仪.....	74
用高频率的发光讯号测量距离.....	96
光速测距仪 CBB-1 的原理及其应用.....	108
一种精密测量短程距离的无线电微波测距仪.....	116
微波测距仪.....	124

國外無線電測距工作概述

苏联 И. А. 潘諾夫

大地測量中采用無線電定位法所进行的工作

采用無線電定位法精确地測量长距离，以及扩展廣闊的無線電測距网，以作为航空測量的控制，其試驗工作，在資本主义国家內，第二次世界大战結束以后就已經开始了。1945年夏天，英美空軍在意大利进行了利用紹兰無線電定位系統測量长达 618 公里的“布列西亞——卡里揚諾”边的試驗。推算折光差改正数和無線電波传播速度变化改正数所必需的气象資料，由無線電探空观测获得。距离測量是在不同的日子里和不同的大气条件下，以及在飞机航高由 10 000 到 15 000 呎的情况下进行的。借此来减弱气象因素对观测精度的残余系統影响。取飞机穿过所量的边 22 次的平均数作为最后边长。按穿过一次确定边长的中誤差等于 ± 26 公尺。

1946年 7 月至 8 月，美国陸軍制图局同美国海岸大地測量局共同組織了采用紹兰系統的試驗工作。試驗的目的，在于确定利用無線電方法測量长距离的可能性，确定此种測量成果的精度，以及研究測量的方法和在高空（約 10—12 公里）使用無線電定位儀器的方式。所必需的气象資料，是用飞机沿着無線電波軌道探測大气层而确定的。試驗的結果，測量了三个一等三角点之間的距离，即巴基斯峯，卡斯特峯和卡查斯。

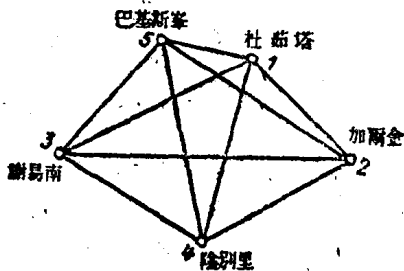


图 1

两点之間的最大距离等于 920 公里。測量边长的相对誤差等于，

巴基斯峯——卡斯特峯边.....1:17 000

巴基斯峯——卡查斯边…………… 1:239 000

卡斯特峯——卡查斯边…………… 1:370 000

在对海水面的航高等于42 300呎(13公里)时,无线电定位仪器的操作十分良好;指示器萤光屏上所得的无线电脉冲急剧而清晰。

与此試驗的同时,美軍第311空軍偵察队在佛罗尼达也进行了类似的工作。其气象資料确定的方法也与上述試驗相同。共測量了一等三角网的10条边(图1)。

測量的結果載于表1中。

表 1

边 号	近 似 边 长 (公里)	测 量 次 数	边的測量誤差 (公尺)	所測边的相对誤差
1—5	157.9	15	+25.6	1:6 200
1—2	238.9	13	-12.8	1:18 500
3—5	259.0	10	+24.0	1:10 800
3—4	279.5	23	+33.6	1:8 200
2—4	291.9	12	+12.8	1:22 700
1—4	319.7	11	+ 6.4	1:49 700
4—5	345.0	11	+30.4	1:11 300
1—3	355.7	23	+ 9.6	1:37 900
2—5	379.0	18	+33.6	1:11 100
2—3	496.4	19	+ 3.2	1:154 200

研究表1中所載的測量結果,就可以看出存在着很大的系統誤差(約15—20公尺)。这些誤差未能消除,因为对此缺乏必需的資料。

以后重复作了試驗,但只重新測定完全四边形1234的边长和对角綫,其結果載于表2中。

由表2可以看出:經過图形条件平差后,完全四边形中測量距离的最大相对誤差等于1:113 000,而边的絕對誤差則达到3.5公尺。

根据这些工作的結果,美国的測量家們得出以下的結論:为了进一步进行研究,一等三角測量的資料似乎已不能作为标准,而应扩展

表 2

边 号	近似边长 (公里)	边 长 誤 差		相 对 边 长 誤 差	
		直接测得 (公尺)	按图形条件 平差之后 (公尺)	直接测得	按图形条件 平差之后
1—2	238.9	- 8.6	- 1.8	1: 27 000	1:135 000
3—4	279.5	- 2.2	- 1.9	1:124 000	1:144 000
2—4	291.9	+ 0.5	- 2.6	1:604 000	1:113 000
1—4	219.7	+15.0	+ 2.4	1: 21 000	1:132 000
1—3	365.7	+ 5.0	- 2.1	1: 73 000	1:175 000
2—3	496.4	- 1.8	+ 3.5	1:280 000	1:140 000

超过一等三角精度的专门三角网。

这些结论，从我们的观点来看，还没有十分充足的证据，第一，由于试验资料的数量很少；第二，因为分析观测成果时，对测量的质量不能作出最后的结论，只取平差元素的中误差作为基础。在这种情况下，必须首先注意到直接观测的误差，这些误差在该次试验工作中有50%的情况大大超过1:100 000(1:73 000、1:27 000、1:21 000)。因此，美国测量家们作出急速敷设超一等三角网的结论，应该认为为时过早。

1947年在美軍 K. 阿斯拉克逊上校的领导下，又进行了一次采用紹兰系统测量长距离的试验工作。这一次测量了佛罗尼达一等三角点之间的边长和庫巴島与中美群島的二等三角点之间的边长。位于中美群島的各点，为了这一目的，专门用“閃光”法（即空中閃光三角测量）测定的。共测量了长由67至 367 哩（108—590公里）的47条边。气象资料确定的方法与前述试验工作相同。

进行试验时，特别注意了计算仪器误差时观测精度的影响。判定了由于无线电信号强度变化（脉冲的量值和形状的变化）所引起的误差，达到 150 呎（46公尺），而仪器误差的残余影响以中误差计约为 ± 40 —50 呎（ ± 12 —15公尺）。测定距离的相对中误差等于 1:28 000。

在试验的过程中，查明了必须改善仪器，主要是为了减小与无线

电脉冲强度和形状变化有关的误差。同样也查明了检验仪器的方法亦应改进。为了求得确定大气折射系数（当作是空气温度、压力和湿度的函数）的公式中所含常数的精确值，美国测量家们建议对标准大气条件下无线电波的传播速度进行另外的研究。

1948年至1949年，澳大利亚国家测量局同科学生产研究委员会一起进行了用无线电测距的试验工作。此工作是在维尔森尔的领导下进行的。试验前，曾进行了多次的预先实验工作，在这些工作过程中，为了研究观测方法，曾测量了大地点之间的某些边长（长约 200—300 公里）。

测量时利用了美国的绍兰系统，在其构造方面作了一些小的改变。例如，在读数装置上加了一个专门的仪表，借以将斜倾距离之和连续自动地以图解形式表示出来。随后直接按此图解确定倾斜距离的最小和。在以前的构造中，倾斜距离的读数是每隔2—3秒摄影一次。

测量了完全四边形中的六条边，此四边形如图2所示。边长在160至310哩的范围内变化。完全四边形的顶点是一等三角点。

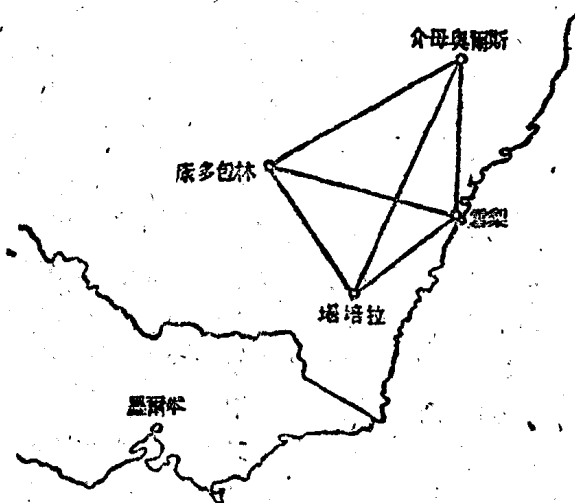


图 2

为了测量边长，曾进行若干个测回。每一测回包括飞机穿过所量的边三次。测量是在大气条件不同的若干日内进行。测量每一条边平

均消耗了五个工作日，并且一日的续航时间约3小时。

飞机穿过所量的边那一瞬间的航高，用无线电测高仪和气压表测定，其误差约为50呎（约16公尺）。地面测站的高程用地面测量的方法取得。

进行试验时的气象因素（大气压力、温度和湿度）没有专门测定。以后在计算无线电波传播速度变化改正数和折射改正数时，对整个测区采用“平均的大气”，其值每次都是从最近固定气象站的一组观测求得的。

表 3

边 名	边 长 (公里)	测 回 数	所测距离 的 误 差 (公尺)	相对误差
雪梨——堪培拉	255.5	2	+20	1:13 000
雪梨——介母奥尔斯	310.2	6	+20	1:15 000
雪梨——康多巴林	385.7	10	+ 5	1:77 000
堪培拉——康多巴林	301.2	10	-23	1:13 000
介母奥尔斯——康多巴林	418.3	6	+34	1:12 000
堪培拉——介母奥尔斯	500.9	7	+53	1:10 000

测量距离的试验结果及其所达到的精度，载于表3中。

由表中可以看出，测定距离的相对中误差，大约等于1:14 000—1:15 000，测量精度不高，据作业的领导者维尔森尔的判定，这是因为无线电传播速度的确定具有很大的误差，仪器系统误差以及飞机航高的确定具有较大的误差，后一种误差在化算倾斜距离时会使边长发生显著的误差。

在前两种因素的影响方面，应该完全同意维尔森尔的结论。但在后一因素方面，这样的结论还有疑问，因为飞机航高测定的误差影响很小，不超过1.5—2.0公尺，而测量的总误差则以几十公尺计；于是，这一因素的影响不可能具有多少决定性的意义。

1951年至1953年，美国俄亥俄州大学的地形图和航行图研究实验室进行了一次试验，其目的在于确定用各种无线电定位系统（美国的

紹兰, 英国的笛卡) 进行测量的精度。試驗是在西姆·拉烏利尔博士的领导下进行的。由很多边长的測量結果表明: 如果无綫电波在海面上通过, 距离在 200 公里以內, 那么利用这一或另一系統所进行的观测, 平均相对誤差約为 $1:50\,000$ 。利用笛卡系統时, 当无綫电波通过陆地上空, 測量的精度便急剧下降 (下降六倍或更多)。試驗結果証明: 只在将島屿与陆地联系和进行各种水道測量工作时才宜使用笛卡系統。

近几年来, 美国空軍航測制图局曾进行了采用希兰系統測量单条边长和扩展无綫电測距网的試驗工作。測量是在不同的条件下和世界不同的地区进行的。例如: 測量了苏格兰——挪威边 (448 公里), 相对誤差为 $1:161\,000$, 而克里特——北非边 (408 公里) 測量的相对誤差为 $1:77\,000$ 。利用希兰系統由多次測量所得的边长, 其相对中誤差等于 $1:108\,000$ 。可以肯定, 利用希兰系統所得的測量結果比較精确。用此种系統扩展无綫电測距网时, 平均每天可以測量 2—3 条边。希兰系統的作業率可以这样判断, 例如, 在 1954 年的外業季节中 (由三月至十一月), 在小安得列群島上敷設了長約 1700 公里的无綫电測距網, 其中包括 102 条測量边。

1949 年至 1953 年在北加拿大进行的作業是規模最大和最有意義的。此次作業的性質是进行生产試驗, 其目的在于确定利用紹兰系統扩展大規模无綫电測距网时所能达到的精度。作業是由加拿大国家科学研究院会同測量局与空軍共同完成的。

根据所完成的作業結果, 扩展了大規模的无綫电測距网 (图 3), 其中包括 73 个待定点。此网依附在 10 条一等三角起始边上, 几乎包围了加拿大的整个北部地区。

总共測量了 325 条边, 其中: 1949 年測了 28 条, 1950 年測了 56 条, 1951 年測了 66 条, 1952 年測了 75 条, 1953 年測了 101 条。

平均边长等于 368 公里, 最长的边等于 590 公里。

在网的四个点上, 沿着长由 26 到 77 公里的边观测了拉伯拉斯方位角。

为了减少气象因素对无綫电波传播速度的系統影响, 每条边都在

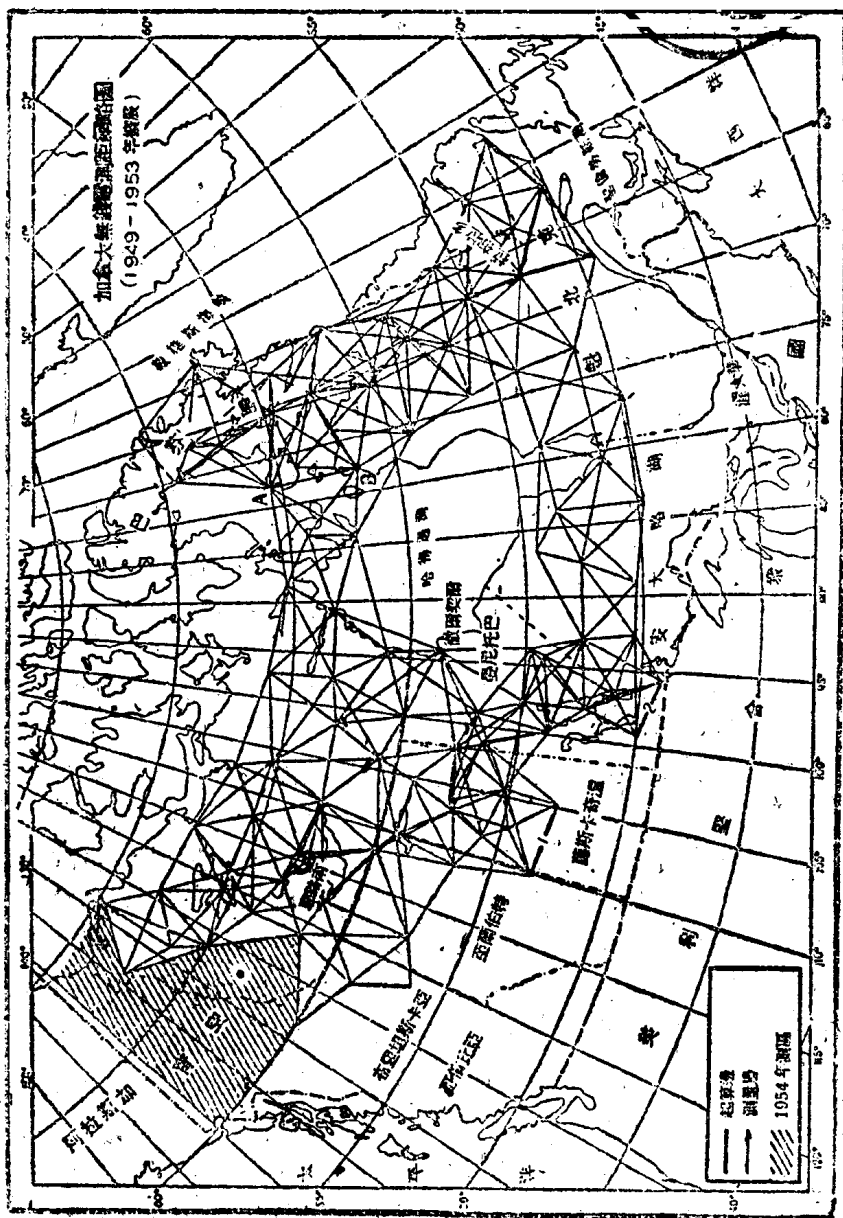


圖 3

不同的日子和不同的天气条件下测量两个测回。每一测回包括两个半测回，而每一半测回又包括四次接續穿过所测的边。

将不同测回所得到的成果互相比較，不符值（不考虑任何的改正数）达到80呎（25公尺）。

表4 列出各测回中边长不符值的分布情况。

表 4

各测回中边长不符值 (以呎为單位)	0—10	10—20	20—30	30—40	40—50	50—60	60—70	70—80
边数	54	45	42	25	25	13	5	4
对总边数的百分比	25	21	20	12	12	6	2	2

如果由于某种原因，个别测回的成果質量太低，則須重新进行测量。例如，1950年中，56条边中重新测量了7条（約12%）。

在每一地面测站上安置仪器和将其导至作业状态，费时1—2日。天綫杆安置在点的中央，而所有其他的設備則安置在帆布棚內，帆布棚离天綫杆的距离在20呎（6公尺）以內。

在测量时，指揮站、地面站和飞机之間要利用專門的收发报机保持經常的无綫电联络。

在测区上，同时进行工作的达11个地面测站，因此，在最后的时期內，每一飞机站上每天可以对网的不同边测量4—5个测回。

由于测区离高程控制网点很远，所以大多数地面测站的高程都由气压計观测来确定，在每一点上，每隔3小时进行一次气压計观测，共进行10—14天。每一套地面站設備包括3个空盒气压計。

由气压計观测所得的高程与由大地测量所得的大湖水面的高程比較，結果証明地面站高程确定的誤差不超过25呎（8公尺）。

观测时飞机的高度也用气压計确定，气压計的讀数在测量距离的过程中每隔三秒摄取一次。飞机高度的測定誤差，当飞行中的高程（对于海水面）在2000呎（600公尺）以下时，确定飞机高度的誤差不超过130呎（40公尺），而平均大約等于23公尺。

判断大气折射系数垂直分布情况所必需的气象資料，用飞机在所

測的边中点之上方按螺旋綫升降的方法观测而得。与此同时，也在地面測站上每隔半小时进行一次气象观测。这种估計的方法与沿着整个无綫电波徑測定气象資料的方法作了比較。比較是在平均大气条件下进行的。傾斜距离长度改正数之差，不超过万分之几哩（若干公寸）因而所采用的方法，对于在平均大气条件下（即沒有显著的大气温度逆增和鋒面的时候）进行观测来講，可以認為是合乎要求的。

在作业的过程中，也要研究大气温度逆增和鋒面对測量精度的影响問題。为此，在具有这种条件的无綫电波路徑中重新測量了某些边。这些測量的結果內部符合很好，而与在平均大气条件下所进行的測量結果不同，其差值約为35—80呎（10—24公尺）。

所測傾斜距离的无綫电波传播速度变化改正和电滋波路徑曲率改正，是沿着厚为2000呎（600公尺）的大气层用数值积分法确定的。

为了减小所測距离由于信号强度变化而产生的誤差，观测是在这样的高度上进行的，这里从地面站接收来的信号最强，形状变化較小，这样的高度是用預先选择的方法确定的。

在每一季度开始外业工作之前和結束之后，要檢驗和比較紹兰仪器。

飞机的設備是在实验室內檢驗的，其方法是将基本振盪頻率（1哩分划）在不同的温度下与标准頻率进行比较。由于檢驗的結果，得到实际振盪頻率与仪器刻度时采用的規定頻率不一致的改正数（所測的距离之一单位的改正）。

为了确定每一地面站迟滯差的数值，地面站的檢定系在长为几哩的专门基綫上进行的。

为了保証工作的稳定性，地面站和飞机站的仪器应在开始工作之前开动，使其至少加热一小时后才正式工作。

整理材料，按傾斜距离計算的最終边长，推算必須的改正数，以及計算閉合图形的閉合差等等，都在飞行之后立即由計算組进行，此計算組包括8—10人。这样便可就地判断观测的質量，和及时查明个别質量不好的測量結果。

1950年末，曾进行了敷設在沙斯卡切万和馬尼托巴省两条基綫

1和2（见图3）之间的无线电测距网的平差，此网长约1700公里。这时发现，所有测量的边都有约为1:60 000—1:70 000的系统误差，并且边长都比应有的值大。假设这种误差是由于仪器刻度时采用的无线电传播速度不精确而引起的，在所有的边中加入了相应的概略改正数。由于平差的结果，网的相对误差等于1:59 000，而边的平均改正数等于5.4公尺。有两条边得出了最大的改正数，其中一条边的长度为440公里， $v = -17.3$ 公尺，相对误差等于1:25 000，而另一条长为280公里， $v = +17.2$ 公尺，相对误差等于1:16 000。

1953年，把直到AB边为止的网的整个西北部分都加入了此网。这时所有的边都事先加入了由上面平差获得的无线电波传播速度的改正数。

1954年2月，结束了温塔里奥、魁北克和巴芬地省内网的东部的平差工作。AB边的坐标和方位角以及基线1—2之间的网，是平差此网的起算数据。得出A点的线长闭合差（由平差网的西部和东部得到）约等于1:21 000，而AB边方位角值之差 $\Delta A = -2''.1$ ，考虑到网的规模，这应当认为是完全满意的。

这一试验性的作业，无论是在观测组织、仪器检验方法和资料处理方法方面，或是在所得数据的丰富方面，都是有充分价值的。这里已考虑到在此以前所积累下来的经验。作业的结果证实，建立大规模无线电测距网，以作为以后航空摄影测量的控制，这是有可能的。

采用无线电定位法进行航空摄影测量的作业

在航空摄影测量中，采用无线电定位法有两个基本方向：第一，用于进行航摄时的领航，第二，用于确定摄影瞬间飞机的位置。在后一种情况下，利用无线电定位仪器确定航摄像片底点的坐标，并利用此坐标作为起始的测量基础，以供随后进行象片的摄影测量处理和编制地图。

国外将无线电定位法用于航空摄影测量的初步试验，也是在第二次世界大战之末就进行了。英国军事测绘局于1943年至1945年编制东

南亚地区战术地图时，在航空摄影测量工作中采用了无线电定位法，所采用的是吉依（GEE）无线电导航系统。

地面站的坐标是用一般的三角测量方法确定的。吉依系统的仪器与航摄仪同步动作。因而，由航摄飞机到地面站的距离（倾斜距离）是在摄影瞬间测量的。敷设摄影航线时，用吉依系统领航。

航线须预先根据1:500 000比例尺地图或有坐标网的空白图标出，这时要考虑到象片旁向重叠的必要性。然后在航线上标出摄影点，并应注意到所必需的航向重叠。然后概略地计算与所标出的航摄像片的位置相应的指示器分划尺上的读数。航线是以一地面站为中心的圆弧。

敷设每一条这样的航线时，由飞机到一个地面站的距离是固定的，这样就可使沿航线的领航工作大大简化。

由航摄工作的经验证明，摄影比例尺为1:52 000时，对于所拟定的旁向重叠的最大差不大于4%。

为了计算摄影点的投影（象片上底点）的坐标，将所量测的倾斜距离化算到椭圆体上。以后底点坐标的计算，就是根据测量的边长确定三角形顶点的位置。

象片的摄影测量处理，主要是用多倍投影测图仪进行。作业成果的精度估计表明：在最良好的条件下，当所求点离地面站的距离最远达到200—250哩（320—400公里）时，确定航摄像片上底点坐标的中误差，在平面位置为 ± 20 公尺，在高程为 ± 10 公尺。

与采用吉依系统的同时，英国人在进行航摄作业时还采用笛卡系统。但是，经验证明，采用后一种系统时，所得航摄像片底点坐标的测定精度要低得多。这时测定底点的中误差在距离将近100哩（160公里）时约为 ± 80 公尺。

在1945至1946年间，美国陆军制图局在佛罗尼达进行了与此相类似的试验工作，目的是为了研究航摄测图的方法。这时采用了绍兰系统。此系统的仪器与航摄仪同步动作，到地面站的距离是在摄影的一瞬间测量的。

在离开绍兰系统各地面站约为130哩（200公里）的测区上，扩展了必要密度的大地控制网。此网的精度对于用普通的摄影测量方法编

制地图是够用的。

在进行航摄的过程中，查明了在摄影航綫长达70哩（110公里）时，各张象片对于规定航綫方向的偏离不超过250公尺。

为了估计用无线电测量方法所得到的航摄象片底点坐标测定的精度，在多倍投影测图仪上用普通方法建立幅射三角网，然后测定底点的坐标。比较用这种方法求得的和用紹兰系统确定的坐标，推算出中误差等于 ± 43 公尺。

随后在维尔格尼又重复了类似的试验，系用航摄仪T-5（ $f=152$ 公厘）在高约6公里处进行测量的。

航摄象片的摄影测量处理，也是用多倍投影测图仪进行的，并试用了同时处理三、七和十五个立体象对的方法。在处理七个立体象对时获得了最好的成果。

用紹兰系统测定的和用普通摄影测量方法测定的各点的坐标同样也进行了比较。证明在用紹兰系统测定各点位置时，所产生的系统误差约为12公尺。消除此系统误差以后，所得底点坐标测定的中误差等于 $\pm 17-18$ 公尺。试验的结果认为是满意的，可以保证编制1:100 000—1:50 000比例尺的地图。

近几年中，美国又进行了一些试验工作，目的在于确定用希兰系统测定象片底点坐标的精度。航摄是从约为6公里的高度用费尔卡尔德T11（ $f=152$ 公厘）航摄仪进行的。

在每一张航摄象片上，都有在地面上用大地测量方法测定的、并且辨认良好的8—16个点。根据这些点计算底点的坐标。这些坐标也用无线电定位仪器来测定。将这些值（17张象片上）进行比较，便得到底点坐标测定的中误差大约等于10公尺。

1948年在澳大利亚，为了在敷設摄影航綫时领航和测定摄影点的坐标，曾采用无线电定位法进行试验。利用了紹兰系统和辅助仪器（航向繪算仪），这种仪器可以引导飞机沿直线形航綫飞行。由试验证明：飞机对于直线形航綫（长约100公里）的平均偏差约32公尺，而最大偏差达到100公尺。

根据无线电测距的数据确定象片底点的坐标，与用大地测量方法