

全國測繪科學技術經驗交流會議

資料選編

三角測量觀測

測繪出版社

中国科学院数学研究所编

資料选編

三角測量原理

科学出版社

全国測繪科学技术經驗交流會議資料选編

三角測量观测

編者 全国測繪科学技术經驗交流會議
資料选編編輯委员会
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証出字第081号
发行者 新华書店科技发行所
經售者 各地新华書店
印刷者 地質出版社印刷厂
北京安定門外六鋪炕40号

印数(京) 1—2950册	1959年8月北京第1版
开本 $33'' \times 46''^{1/32}$	1959年8月第1次印刷
字数 50,000	印张 $1\frac{7}{8}$
定价(8) 0.23元	統一書号: 15039 317

出 版 說 明

一九五九年二月在武汉召开的全国測繪科学技术經驗交流會議广泛地交流了各方面的先进經驗和技术革新成就。为供全国測繪工作者学习先进經驗的参考，今由大会秘書处組成編輯委员会，按专业編选汇集，予以出版。

本册介紹了在三角測量觀測中的經驗，第一节中介紹了一、二等三角測量水平角觀測的經驗，其中有用威特 T。經緯儀觀測一等鎖的經驗、回光与觀測連环配合法、双边觀測、角觀測手簿循环核算法等；第二节中介紹了天頂距觀測中手簿記錄的改进經驗；第三节介紹了回照器与回光灯的改进，其中有回照器与回光灯合併装置和自动控制間歇发光的回光灯之設計等；第四节較詳細地介紹了司光工作經驗；第五节介紹了归心投影方法的改进。

本書可供从事三角觀測的大地測量工程技術人員学习和参考。

为加快出版時間，本資料选編由測繪、建筑工程、水利电力、煤炭工业等四个出版社協作出版。

目 录

第一节 水平角观测.....	(3)
一、经纬仪上加找方向的指标.....	(3)
二、沙漠地区观测经验介绍.....	国家测绘总局 (3)
三、用威特 T。经纬仪观测一等锁的经验.....	长江流域规划办公室 (5)
四、二等三角测量观测回数数的探讨	长江流域规划办公室 (11)
五、回光与观测连环配合法.....	长江流域规划办公室 (17)
六、双边观测.....	长江流域规划办公室 (18)
七、角观测手簿循环核算法.....	长江流域规划办公室 (19)
八、非完全方向观测法之测站平差的简化算法	
.....	长江流域规划办公室 (20)
九、在测站上估算方向观测精度的用表.....	西安分局计算室 (26)
第二节 天顶距观测.....	(28)
一、天顶距观测手簿记录的改进	广东水利厅勘测设计院 (28)
二、天顶距和指标差的简化计算.....	总参测绘局第四大地测量队 (30)
第三节 回照器和回光灯的改进.....	(32)
一、简装两用回照器	长江流域规划办公室 (32)
二、回照器与回光灯合併装置.....	总参测绘局第二大地测量队 (34)
三、自动控制和間歇发光的回光灯.....	(34)
四、扇形回照器.....	长江流域规划办公室 (37)
五、利用手电筒供光的夜间观测法.....	长江流域规划办公室 (39)
第四节 司光工作经验.....	(41)
一、怎样做好三角观测的司光工作.....	黄河水利委员会勘测设计院 (41)
二、司光经验介绍	国家测绘总局第一大地测量队 (49)
三、对司光工作的点滴体会.....	国家测绘总局第八大地测量队 (53)
第五节 归心投影	(56)
一、利用分划投影器的一人投影法	(56)
二、垂直投影仪	黑龙江省燃料厅地质局测量大队 (58)

三角測量觀測

第一節

水平角觀測

一、經緯儀上加找方向的指標^①

一 三角觀測時，如果目標清晰、背景分明，利用鏡筒上的准星去對准覘標或標光，比較便當。如目標不清晰，而背景又是山、林，或平地等隱蔽物體，這樣照准便有困難。

為了便于找方向，並避免望遠鏡轉過目標，可事先在照准部上（與基座接合處）划相距 180° 的兩條指標綫（此兩指標綫最好在視准軸垂直面內），並在基座上與照准部接合處，貼5—7公厘寬膠布條或紙條。

到達測站後，按選點圖依次照准各方向，每照准一方向後，即在基座的膠布條上或紙條上與指標綫相對處划一綫，並註上代表相應方向的記號。縱轉望遠鏡，再依次照准各方向，對准另一指標綫作記號。以後觀測每一方向，即可根據指標綫照准。

在垂直角方面也可用同樣方法。

二、沙漠地區觀測經驗介紹

國家測繪總局

1958年全年我們完成了天山——科左後旗一等三角鎖的觀測

^①編者注：本篇系綜合總參謀部測繪局和遼寧省地質局的經驗。

任务，共計十四個一等三角點。由王安生和曲和安兩個小組擔任觀測，使用蘇聯航空大地儀器廠出品的 $T T_2''/6''N\textcircled{8}302$ 和 $N\textcircled{8}273$ 兩部精密經緯儀，觀測員均有四年以上的實際工作經驗。

這個測區屬於沙漠性的氣候。由於沙漠地區的土質較松，吸熱和散熱較快，白天與晚上，中午和早晨氣溫相差很大。因此地表面的氣流平衡穩定的時間不多；也就是說，適合高精度三角觀測的時間是很少的。在此種氣候惡劣的情況下，保證按細則規定的精度進行觀測有一定的困難。工作初期，觀測員對沙漠地區氣候情況不熟悉，由於得不到良好的通視機會，在個別點上停留達半月之久，使業務進度受到了嚴重影響。後來漸漸熟悉了沙漠地區的特點，抓住了有利的觀測時機，並在成象不太穩定的情況下，試行觀測。根據觀測成果來看，精度還是合乎要求的。經過外業檢算，整個三角鎖段的精度如下：

按菲列羅公式所得的測角中誤差為： $m = \pm 0.''54$ ；

基綫條件不符值： $w_{\text{基}} = 43$ ， w 允許值 = 104（七位對數）；

方位角條件不符值： $w_{\alpha} = -2.''45$ ， w 允許值 = $\pm 6.''53$ 。

從上面結果來看，本鎖觀測的結果是良好的，並不低于在一般地區所達到的精度。這說明在成象雖不夠穩定的情況下，只要注意操作，抓住觀測的有利時機，同樣可以獲得良好的觀測結果。

由於沙漠地區地面溫度變化劇烈，因而氣流平衡的時間較短。一般在上午只有很短的時間成象比較穩定。中午在儀器視野里成象是模糊一片，根本無法辨別影象的中心。到下午五點以後成象才開始穩定下來，所以下午觀測時間較長一些，約1—1.5小時之久。日落初期成象也比較穩定，適于觀測，但不甚清晰。在晚間十點以後，隨着溫度的下降，地表潮氣上升，大氣的流動開始加劇，這時回光影象，就如映入水中的朝陽，晃動十分厲害，這種情況一直延續到天亮為止。

根據前述情況，我們在白天必須抓緊早晨和下午兩段短促的觀測時間進行水平角觀測。夜晚觀測應在日落半小時以後馬上開始，二十二點以後就不能繼續觀測了。

在沙漠地区及草原地区，由于气候变化的特殊，回光往往出现各种奇形怪状的影象。实际工作中看到的有串珠形、圆球形、椭圆形等，也有极不规则的其它影象。这些奇形怪状的回光影象一般都出现在夜间，白天是很少遇见的，并且都出现在视线超出障碍物和地面过低的方向。因此在沙漠草原地区，充分保证视线超越障碍物高度的规定，和适当提高视线高度，具有十分重要的意义。这种奇形怪状的影象是由于折光的影响而产生，而且随着气候而变化。串珠形和圆球形光，我们认为主要是由于竖折光的影响而产生的，对水平角值影响不太大，用蛛丝多次照准，其结果相差很少。这二种影象在望远镜视野中多成垂直，很少有倾斜的，其形如 $\begin{smallmatrix} \text{+} \\ \text{+} \\ \text{+} \end{smallmatrix}$ ，所以容易照准。月牙光和椭圆形光是不能进行观测的。除了上述几种光象之外，还有其它的情况，如光象不够亮，呈淡黄色，并且时大时小。虽然这种光也很晃动，但能找出它的中心，也可观测。沙漠地区回光影象几乎全是这样。在这种情况下，进行观测照准时，可以用蛛丝照准回光影象的中间部分，使回光影象在蛛丝左右晃动相等。

在沙漠地区进行观测，应充分利用阴天和多云的天气，因为阴天的回光影象清晰，除了正午以外，回光的影象几乎全天都是稳定的，对水平角观测十分有利。

在沙漠地区的天顶距观测，中午回光影象晃动十分厉害，无法辨别回光影象的中心，因而无法照准；最好的观测时间是在上午十点钟以后，下午二点钟以前。

以上仅是我们在天山——科左后旗沙漠地区14个点观测工作中几点不成熟的体会。

三、用威特 T₃ 经纬仪观测一等锁的经验

长江流域规划办公室

1957年，我们接受了××段一等三角锁的观测任务。遵照苏

联1955年的规范，观测一等三角点要使用 $TT_2''/6''$ 经纬仪，而我们当时仅有威特 T_3 经纬仪。是不是可以用 T_3 经纬仪来测一等锁，就成为当时我们所要解答的问题。

考虑到 $TT_2''/6''$ 经纬仪的特点，是装有偏扭观察镜和目镜测微器，它可以观察仪器座的偏扭和改正偏扭，当目标呈象晃动时，它又可以应用目镜测微器，来提高施测的精度。

我们回顾一下，长江流域一般风力较小， $\times\times$ 段一等点，概为低木标，仪器座高度在8公尺以内，可以相信偏扭不会大，而当用全组合测角时，微小的偏扭，是可以得到克服的。至于提高观测精度，我们可以充分利用有利的观测时间来解决。

从限差上看，根据经验，我们用 T_3 经纬仪测二等点，用方向观测，测回差在 $5''$ 以内，倘改用全组合测角，则测回差当可缩小到 $3''$ 以内，而苏联1955年规范的一等点测回差为 $4''$ ，亦不难满足要求。

此外， T_3 经纬仪尚含有较大的系统误差，最大可达 $0.''4$ ，此缺点，在新型的 T_3 经纬仪中，已有改进。且 T_3 经纬仪轻便灵巧，易于搬运，便于在山区工作。

经过了上述一些因素的分析，我们有信心用 T_3 经纬仪施测一等锁。实践证明， $\times\times$ 段一等锁的三角形闭合差，最大的未超过 $1.''4$ ，测角中误差为 $\pm 0.''5$ ，保证了一等锁的观测需要。此后，我们用 T_3 经纬仪，还继续施测了 $\times\times$ 到 $\times\times$ 的一等锁，和其它4个一等锁段的一部分。

(一) 观 测

1. 我们是依据苏联1955年一、二、三、四等三角测量细则，结合当时的情况进行工作的，例如当时我们对 OT-02 型光学经纬仪及威特 T_3 型光学经纬仪异同之点，还未彻底了解，故在操作方面尚有与细则不符之点：就是没有按照 § 119（中文版34页）变换度盘 $8'$ 及将照准部向旋转的相反方向旋转 $30^\circ-40^\circ$ 。

2. 我们都是采用全组合测角法方向权数 $'mn=35$ 或 36 。

3. 关于限差系依照細則执行，但其中測回差一次，三角三队系按 3'' 执行，三角五队則按 4'' 执行，但也有时在 3''—4'' 之間，观测員認為不可靠时，也重測了一部分。

4. 观测中日夜測分配的比例数以不少于 1/4 为原則（即日測 3/4 夜測必达到 1/4，或夜測 3/4 日測必达到 1/4）要求达到日夜測各半为最好，但在实际工作中，因为天气关系及供光人員的影响，我們通常夜測比例較日測多，但少的都是超过 1/4 以上。

5. 对减少外界因素影响，我們是比較注意的，例如在光的清晰程度不明显，或不均匀时，我們都未勉强进行观测。其它如雨后即晴，时阴时晴，超过中等风力，都是停測的。

6. 在出发和收工时，都对仪器进行了全面的檢驗与校正，这是符合細則要求的，同时在每点观测前，我們都进行了分划綫重合誤差，和光学測微器行差的測定。

7. 观测孟沟崗 35 公尺高木标，高家槽坊 31 公尺鋼标和 50 公里长边，以及視綫超过障碍物不足一公尺等，我們为了减少誤差来源，利用最好的時間进行观测。

(二) 精度統計

由我們观测的 ×× 段一等三角鎖共有 15 点計高峰印、封子山、紅雁沟、雨帽頂、黄龙寨、大寨、大白岩、永清山、寺山、禹山、七里山、高家槽坊、大薤山、孟沟崗、兴隆观，其观测質量的鑑定見下表：

鎖名及等級	使用仪器	方向权数	三角个数	三角形闭合差的个数			三角形闭合差 (秒数)		三角形闭合差之和		測角中誤差	附注
				0''—1''	1''—1''5	1''5—2''	最大	平均	正	負		
××段	WildT ₃											
一等三角鎖	No 29831 33311	35及36	22	14	4	4	+1''74	0''62	6''15	7''41	±0''50	此段北端为黄委会所測

由表中看出这次所观测的一等点的结果，在精度上尚能合乎要求；虽然在工作进行中由于较有经验的观测员和全组同志积极地想办法克服了一些困难，但在现阶段缺少较精密仪器的情况下，能得到满意而良好的结果，可以说明威特 T。经纬仪观测一等锁是能完成任务的。

我们这次试验获得初步成功，是全组同志政治挂了帅，拔了白旗，插上红旗，发挥了敢想、敢说、敢干的共产主义风格，加强了责任心，但所看到和体会的还是不够深刻，研究得不够深入的。

(三) 进行高精度水平角观测的时间

水平角观测精度的关键，除了用校正完善的精密仪器和细致周到的操作方法外，还与善于利用有利的观测时间有密切关系。结合长江流域中下游地区情况，根据各观测者的实际经验，通过集训期间大家讨论，归纳出有利的观测时间如下：

1. 晴天的白天

日出一小时后，大约有半时至一时左右的时间，目标达到清晰和稳定，可以进行观测。这个情况，一般在 5—8 月左右（有些地区，如有雾霾还不行），如果司光员技术熟练，充分利用这段时间进行观测是可能的，我处观测组大部分是利用了，也有的强调客观困难（不容易通光）及利用时间短，而没有去利用。

下午四时左右至日落前半小时或更提前一点，这段时间目标清晰稳定，没有左右晃动，是很好的也是一般都利用的时间。

清晨薄暮，由于大气层变化较大，目标虽然清晰，亦不易于进行观测。日出一小时后，大气层渐趋稳定，可以进行观测。此后，地面因受日光晒射，空气的温度升高，热空气上升，冷空气下降，产生对流，使成象不稳定；同时，由于水份蒸发，形成薄雾，目标也就模糊了。下午三、四点钟左右，地面温度上升，已达饱和状态，大气层渐趋平衡，故为有利的观测时间。到日落前半小时，由于地面温度急剧下降，大气层变化较大，故不宜于观

測。

2. 阴天

阴天由于大气层沒有剧烈的变化，成象稳定，目标清晰，全天除去十一—十三时外，在天明后一小时及傍晚前一小时，都可以进行观测。

阴天測光，要回照灯对好測站，是比较困难的，要求司光員預先把灯的位置和方向整好，精密地量好灯的高度，爭取迅速通光，解决測光的困难。

3. 夜晚

夜晚的大气层比较稳定，目标清晰。观测時間可自黄昏后一小时起，至午夜三点鐘。

由于旁折光对方向值的影响，夜晚比白天大，且符号相反，故高精度的水平角观测，不能完全在夜晚进行。

4. 常影响观测精度的情况

天气突然变化。

雨刚停止，目标虽极清晰，也不能馬上进行观测。以上两种情况，都是旁折光影响較大的时候。

观测覘标，一标有阳光，一标阴暗。

观测标光，光时大时小，不均匀的情况。

(四) 旁 折 光

旁折光是影响測角精度的外界因素之一，是由空气密度的不匀所引起的。当影响空气密度的温度与气压变化剧烈的时候，也就是旁折光变化复杂的时候。一般的說，白天与晚上的旁折光不同，夜間要比白天大，所以精密的水平角观测，要白天与晚上配合进行。

局部旁折光，是当个别光线通过特殊地区，如山坡、大的水面，或沼泽等特殊地面而产生。下面所举的兴隆观与海棠山两站的实测成果，是一个局部旁折光的例子。

从图 1、图 2 中可以看出：兴隆观的第一方向綫左面是土 石 山，右面是河流；海棠山第二方向綫，距障碍物約 6 公尺，左面

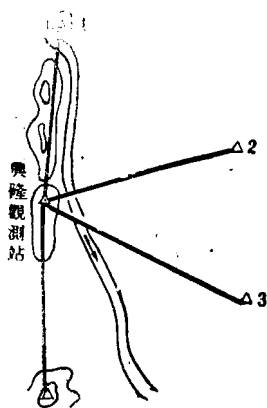


图 1

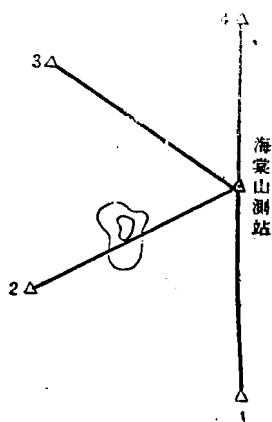


图 2

兴 隆 观 测 站

1.2	1.3	1.4
白天 12".2	白天 21".5	白天 9".1
白天 14.0	白天 21.0	白天 10.3
白天 12.0	白天 20.7	白天 9.8
白天 11.5	白天 19.0	白天 .3
白天 11.5	白天 18.7	白天 8.2
晚上 09.1	晚上 17.7	晚上 7.8
晚上 09.5	晚上 18.7	晚上 5.9
晚上 10.3	晚上 18.9	晚上 6.8
晚上 11.0	晚上 18.3	晚上 3.3

海 棠 山 测 站

1.2	2.3	2.4
白天 13".2	白天 14".1	白天 24".6
白天 14.3	白天 13.7	白天 25.7
白天 14.2	白天 13.3	白天 26.2
白天 14.7	白天 13.2	白天 24.5
白天 14.6	白天 13.9	白天 24.1
白天 14.8	晚上 15.5	晚上 26.0
晚上 13.5	晚上 15.1	晚上 27.0
晚上 12.0	晚上 16.1	晚上 27.4
晚上 12.6	晚上 15.1	晚上 27.0

白天中数

晚上中数

12.2	20.2	9.1	14.3	13.6	25.0
10.0	18.4	6.7	12.7	15.4	26.8

地形較低，右面是連續高山。而在观测結果中，白天中数与晚上中数之显著差異，亦足以說明此二方向受有局部旁折光影响。

象这样有局部旁折光影响的方向，應該特列一組，爭取在有利的時間进行观测：

1. 在平靜的阴天，或是有微风的天气进行观测；
2. 在明朗的和有云的天气，在晨間、晚間和夜間于力量不均、方向不定的輕風和中級風之下进行观测；
3. 在有蔭霧时进行观测，霧虽浓但在照准目标通視良好的条件下，亦可进行观测。

在上述的条件下，通常大气层已經調和均匀，或将調和均匀。此外，在晚間（下半年）也是适于观测的时候。

（五）扭 轉

用威特 T₃ 型光学經緯仪进行一等点观测，在我們长江中下游地区，一般大风的出現率很少，并在仪器座不高出 10 公尺以上的情况下，覘标扭轉也不会出現很大誤差，故采取 T₃ 型經緯仪观测一等点是可以的。只要观测員有較多的經驗，并且能掌握外界因素对精度的影响，而充分抓住在有利于观测的时间內进行观测，亦可能测出符合精度要求的結果来。

結語：在一等点上要求测出高精度的結果来，仪器的好坏当然也是重要因素之一，但是更重要的是不能忽視人为这一方面。首先因为仪器是人掌握的，除对技术水平的要求外，主要要求观测員及司光員提高政治覺悟水平；如果沒有真正全心全意为人民服务的风格，做到政治掛帅，就是有好仪器及足够的經驗，亦不能發揮它們的作用，而得出高度良好的結果来。

四、二等三角測量观测測回数的探討

长江流域规划办公室

我办自 1952 年开始大地測量以来，陸續施测二等三角点几千余点，我們的施测方法（开始时用的是我們自己編的比較粗疏的細則；1954 年起改用 1943 年苏联的一、二、三、四等三角測量細則，1956 年起又改用 1955 年苏联的一、二、三、四等三角測量細

則)一年比一年严密,采用的測回数(由六測回、九測回、十二測回,直至十五測回)也一次一次的增多,施測的精度亦从而获得显著的提高。

根据社会主义建設总路綫的精神,为了能全面地符合多快好省的原則,特就我办已有資料將二、三等觀測的測回数,进行初步探討如次:

精密的水平角觀測,應該用校正完善的仪器,細致而周到的操作,以及充分地考虑外界环境的影响。觀測的精度,理論上应与測回数的开方倒数成比例。根据我办大量的二等觀測成果,除了施工控制网的短边觀測,因其照准精度不同,不予計入外,統計如表 1:

表 1

三角形个数	測回数 n	各区測角中誤差平均值	$\frac{3}{\sqrt{n}}$
219	6	$\pm 1''.33$	1.22
341	9	± 1.04	1.00
297	12	± 0.63	0.86
463	15	± 0.72	0.77

由表 1 可以看出: 6 測回到 12 測回, 精度有显著的增高, 而 12 測回与 15 測回的结果, 則无甚大差别。按照 1955 年的苏联一、二、三、四等三角測量細則要求: 水平角觀測结果, 按三角形閉合差算得的觀測角中誤差不得超过 $\pm 1''$, 三角形閉合差最大不得超过 $3''.5$ 。根据前一要求, 12 測回已可滿足; 而后一要求, 从表 4 可以看出, 也能滿足。也就是說, 在我办二等觀測, 用威特 T。型經緯仪, 按权为 24 (相当于方向觀測 12 測回) 可以保证符合于細則的要求, 而采用权为 30 或 15 測回, 似不必要。

我們从一些主要測区的測角中誤差簡表(表 2)中, 按权为 24 和 12 測回是并列的, 而按权数为 24 的中誤差远比用 12 測回的中誤差为小; 也就是說, 全組合測角法精度, 要比全圓方向法的精

表 2

测 区	二补 A 区	二补 B 区	二补 C 区	二补 D 区	二基 A 区 二等网	二基 B 区 二等网 同左	二基 C 区	二基 D 区	二网 A 区 二等网	二网 B 区 二等网	二网 C 区 二等网	二网 D 区 二等网
锁网等级												
观测年代	1952	1953	1957	1954	1955	1955	1955	1956	1957			
权数或测回数	6回	6	6	9	9	9	9	9	9	9	9	9
$\sqrt{\frac{\epsilon W^2}{3n}}$		± 1.56	± 1.26	± 1.11	± 0.91	± 0.71	± 0.91	± 0.96	± 1.27	± 1.14	± 1.12	
测区锁网等级	独 一测区	立 二测区	测 三测区	区 四测区	E 区 二等网	F 区 二等网	G 区 二等网	H 区 二等网	I 区 二等网	A 区 一等网	B 区	C 区
观测年代	1957	1957	1957	1958	1958	1958	1958	1958	1958	1958	1958	1958
权数或测回数	(12回)	$mn = \frac{24}{25}$	$mn = \frac{27}{32}$	$mn = 27-32$	15							
$\sqrt{\frac{\epsilon W^2}{3n}}$	± 0.93	± 0.30	± 0.78	± 0.23	0.58	± 0.58	± 0.89	± 0.79	± 0.59	± 0.96	± 0.94	

度高。

全組合測角法的精度，比全圓方向法高，而全圓方向法的操作簡便，和全組合測角法比較起來，在時間上要少一些，從多快好省的快來看問題，不少人提出來，要用全圓方向法。

從照准次數和變換度盤來說，全組合測角法是要多一些，計算兩者的實際照准次數的工作量，要把測站上重複觀測工作量包括在內，根據典型區資料統計得如表3：

表 3

全 圓 方 向 法					方 向 數	全 組 合 測 角 法				
12測回 照准次 數	平均重 測回數	平均實 測次數	一點上 平均觀 測時間	中等速 度所需 時間		權為24的 照准次數	平均重 測角數	平均實 測次數	一點上 平均觀 測時間	中等速 度所需 時間
			分	分					分	分
120	2.1	141	154	129	4	144	7	172	200	175
144	4.6	199	203	172	5	200	11	244	281	253
168	6.5	259	273	266	6	240	12	296	344	310
192					7	336 (三方向法) 210	12		257	330

從表3中可以看出，全圓方向法重測率雖比全組合測角法高，但加入重複的觀測量後，全組合測角法的工作量仍比全圓方向法多。

必須指出，表3中的照准次數及觀測時間，雖已包括了每一測回中重測的次數，但尚未包括一站上完全重測的情況。這種在一站上完全重測的情況，在全圓方向法中，並不少見。以獨立測區第一測區來說，這樣全部重測的二等點，差不多要佔1/3的比重。這也許是比較突出的，但這樣的事總是應該估計在內。從表中仔細比較一下，包括了一般的重測率後，兩種測法照准次數的差數，已經差不多，再加上個別站全部重測的因素，那相差就更