

空间大地测量学术讨论会

# 空间大地测量论文选编



083

中国测绘学会编辑  
测绘出版社出版

空间大地测量学术讨论会

# 空间大地测量论文选编

中国测绘学会编辑

测绘出版社出版

空间大地测量学术讨论会

空间大地测量论文选编

(限国内发行)

\*

中国测绘学会编辑

测绘出版社出版

测绘出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16·印张 10<sup>1</sup>/<sub>2</sub>·字数 243千字

1984年12月第一版·1984年12月第一次印刷

印数 1—1000册·定价 2.50元

统一书号: 15039·新 343

## 出版说明

中国测绘学会大地测量专业委员会于一九八三年五月十八日至廿三日在武昌举行了空间大地测量学术讨论会。会议共收到论文四十篇。为了汇总这次学术会议的科技成果，扩大交流范围，进一步促进我国空间大地测量工作的发展，根据会议纪要的精神并经中国测绘学会同意，决定由大地测量专业委员会空间大地测量组负责组织论文审编小组，选编未曾公开发表且具有一定学术水平的论文公开出版，供从事有关空间大地测量研究、教学和生产的同志们参考。

本选编共收集了 19 篇论文，它们有的对多普勒平差计算程序、卫星网点的最佳分布、卫星轨道计算以及大地测量的参考坐标系等问题进行了较深入的讨论，有的联系实际，将卫星多普勒定位技术应用于石油勘探、地区资源考察以及补充加密国家点等方面并取得了较好的成果，此外还有涉及到光学摄影、激光测距、甚长基线干涉测量及大气扰动等方面的内容。当然这些文章中的个别论点和提法，不一定都很成熟。我们本着“百花齐放，百家争鸣”的方针，仍决定发表它们，以期促进学术上不同观点之间的交流。

本“论文选编”由鲁福、谢士杰、朱文耀、许其凤、胡建国负责选稿和编辑，由张志新同志最后审阅定稿。由于我们审编水平有限，错误和不足之处在所难免，恳请广大读者不吝指正。最后，谨向积极支持本论文选编出版工作的各位作者、审稿人、出版社和其他有关同志表示感谢。

“空间大地测量学术讨论会空间大地测量论文选编”审编小组

一九八三年十一月

## 目 录

空间大地测量与参考坐标系·····	朱圣源 ( 1 )
卫星网点在地面网中的最佳分布·····	周忠谟 ( 5 )
大地点三维直角坐标的解算·····	沈文炳 ( 20 )
广播星历表与 MEDOC 精密星历表的比较 ·····	许华冠 朱元兰 ( 25 )
地面网与卫星网联合平差中转换模型的选择·····	周忠谟 时 京 刘乃苓 ( 35 )
我国卫星多普勒网按半短弧法平差的数学模型·····	胡建国 ( 49 )
应用由多普勒计数推求的站点距离差进行多普勒同时观测网平差的 几何模型·····	张承泽 ( 63 )
偏微分两种算法对轨道改进的影响·····	余小影 顾建平 ( 75 )
射电干涉测量的系统误差·····	赵武坚 ( 85 )
G171 人卫激光测距仪的改进 ·····	人卫站激光组 ( 91 )
卫星大气摄动有关问题的探讨·····	吴延忠 ( 94 )
卫星照相同步观测确定测站间弦方向的严密解法·····	音 福 ( 98 )
长边方位角测定·····	许其凤 周维生 牛学思 ( 101 )
卫星多普勒网短弧平差计算报告·····	陈俊勇 张伟兼 黄武英 ( 110 )
全国卫星多普勒网平差的初步报告·····	魏子卿 段五杏 夏健英 ( 131 )
卫星多普勒技术在二网改造中的试验·····	卫星多普勒定位组 ( 136 )
我国中部地区卫星多普勒测量成果的初步分析·····	张京南等 ( 149 )
卫星多普勒定位在柴达木盆地的应用·····	樊德仁 ( 158 )
上海—埃弗尔斯堡 (西德) 首次 VLBI 实验的进一步分析·····	钱志瀚 ( 161 )

# 空间大地测量与参考坐标系

上海天文台 朱圣源

空间大地测量的手段主要有应用 NNSS 的人卫多普勒系统, GPS 全球定位系统, SLR 人卫激光测距系统, LLR 激光测月系统及 VLBI 甚长基线干涉测量系统。这些技术大体都较成熟, 都已经(或初步)用于实测。当然, 有的也还在继续研制、改进之中。

空间大地测量适合于大范围的测量, 特别是全球性的测量。这是因为空间大地测量测定远距离的绝对误差与测定近距离的绝对误差相差不太多。因而远距离测量的相对误差就会小得多。虽然由于平差计算中带来的相关性, 近距测站间的坐标差平均会比远距测站间的坐标差精度略好, 但所好程度有限。且这种坐标差的精度随距离增加而变坏的情况也随不同技术、不同观测方案而不同。下面举一例子:

在 MERIT 短联测资料分析中, 关于 SLR 技术有好几个分析中心进行了归算<sup>[1]</sup>。这里选两个分析中心所采用的地面点坐标来比较。测站 7102 和 7063 是戈达德飞行中心的两架激光仪, 相距仅几十公尺。两个分析中心得出的该两站坐标差为:

7102-7063	$\Delta\phi$	$\Delta\lambda$	$\Delta h$
分析中心 I	1.018"	-1.005"	-1.19m
II	1.004"	-0.989"	-0.90m
绝对差值	0.014"	0.016"	0.29m

两分析中心算得的坐标差之差达 30~50cm, 弦长差也近 60cm。同样两个计算中心求得美洲至澳洲测站间的坐标和弦长差也不过一米多。因此空间大地测量只是在全球性及大范围长距离测量上代替了地面测量手段。对于小范围的近距测量, 经典手段仍是必不可少的。

根据空间大地测量特点, 它所涉及的地面参考系应是全球性的而不是一个国家或区域性的。当前的现实情况是各种空间大地测量手段并存, 而且这种情况今后相当长时间内会继续。不同手段相应有不同的地球参考系。就是同一种手段, 不同的分析方法, 不同的处理中心所采用的参考系也不一致。因此要说地心坐标, 必须说明是在哪个系统里。为了使各种系统可以互相比较, 也为了将来建立统一的协议地球参考系 CTS, 必须求出各参考系之间的转换参数。怎样得到高精度的转换参数是我们面临的第一个问题。

当前可达到的观测精度实际情况是: 子午卫星多普勒观测是米级精度 ( $10^{-6}$ 量级的相对精度); GPS 有几种不同模式(如用多普勒手段观测 GPS, 1000 分钟观测重复率是 30cm (H), 70cm (E), 10cm (N)<sup>[2]</sup>), 如采用不须解码的射电干涉原理进行观测, 则在双频观测时精度可望达到分米级 ( $10^{-7}$ ); 激光测卫技术依仪器性能不同精度也有不同, 可望达到分米至厘米级精度 ( $10^{-7} \sim 10^{-8}$ ), VLBI 技术有能力达到厘米级精度 ( $10^{-8}$ ), 但必须作双

频观测并加水汽辐射的改正。在上述大多数精度情况下，都必须考虑地球的变形和测站间的相对运动。地球的形变运动大体可分为两类。一类是短周期的，如潮汐变形；一类是长周期或长期性的，如板块运动。固体潮可引起地面升降变化达几十厘米，海潮约为几厘米。固体潮和海潮影响可以用理论模型来计算，只需一些参数（如洛夫数等）已知即可。理论模型往往不能区别各地区的特殊情况，如再根据地球物理等手段进行实测，则可改善理论模型计算的结果。虽然空间大地测量也可用来检验这些模型，精化模型参数，但在常规的处理中，空间大地测量侧重考虑的是长期或长周期运动。长期运动，如板块运动虽然也有模型，有的模型如 Minster and Jordan 的模型<sup>[8]</sup>也被公认为是不错的，但当前实际还处于用空间大地测量实测结果来测定这些形变和检验这类模型的阶段，而不是由模型来改进观测的阶段。加上潮汐改正后的测站地心坐标是随时间变化的，基线长度也在变化。因此就不存在一个固定在地球上的参考坐标系。我们最多只能要求参考系“在平均的意义上固定”在形变的地球上。怎样建立这样一个“平均固定”的参考坐标系是我们面临的第二个问题。

在上述问题解决后，可得到测站随时间变化的地心坐标，权且称之为“平”地心坐标。为了使用瞬时地心坐标，还要在平地心坐标上加实时的固体潮改正，不妨称改正后的坐标为“真”地心坐标。同样，瞬间实时基线长度也应加上当时的潮汐改正。如果要求某点的实时空间定向，如航天器跟踪，则还需加上实时的极移和 UT1 改正。这就不仅需要提供高精度快速地球自转参数服务，还要有合适的预测方法以得到实时的地球自转参数。

下面讨论上述的二个问题。

### 1. 转换参数的测定

通常两个坐标系之间转换要知道七个转换参数，即三个旋转角，三个平移和一个比例尺。用三个以上的并置测站（即同一测站具有双重坐标）即可求出这七个参数。计算公式简单，不再列出。

1981 年美国 NGS 进行了一次较大规模的转换参数测定计算<sup>[4]</sup>。使用技术有多普勒，VLBI，SLR 等。以多普勒网的原点和定向为基准，只求其比例尺，先验中误差为  $\sigma_\phi = 0.80\text{ m}$ ， $\sigma_1 = 1.00\text{ m}$ ， $\sigma_H = 1.20\text{ m}$ 。VLBI 求解三个旋转角，先验中误差取形式中误差，当基线向量分量形式中误差小于 7cm 时取 7cm 为先验中误差。SLR 求解所有七个参数，地心坐标各分量先验中误差取为 30cm。解算结果大体如下：

	$\beta_1$	$\beta_2$ (角秒)	$\beta_3$	c (PPM)	$\delta_1$	$\delta_2$ (米)	$\delta_3$
多普勒				-0.47 (0.04)			
UTX SLR	-0.01 (0.01)	0.02 (0.01)	0.61 (0.01)	0.02 (0.04)	0.43 (0.14)	-0.83 (0.15)	-3.65 (0.14)
NASA SLR	0.02 (0.01)	0.00 (0.01)	0.68 (0.01)	-0.04 (0.05)	0.90 (0.19)	-1.10 (0.19)	-4.80 (0.20)
JPL VLBI	0.30	0.01	0.85				

	(0.22)	(0.01)	(0.03)
NASA VLBI	0.08	0.00	0.88
	(0.04)	(0.01)	(0.01)
NGS VLBI	0.07	0.02	1.18
	(0.04)	(0.01)	(0.01)

括号内数字为中误差。因 SLR 网与多普勒网都是全球分布，并置台多，因此参数求解精度较高。而 VLBI 站只在北美、北欧，因此尽管本身精度是十厘米左右，转角误差则达米级。高精度的结果转换到公共坐标系后结果变坏了。要把各种系统合并为统一的参考系而不损失原有精度，转换参数的测定是关键。而转换参数的精度很大程度上决定于并置台站的几何分布。这方面的研究和模拟计算可参见文献〔5〕。

## 2. 考虑台站间相对运动时地球参考系的建立

当前这问题还处在方案讨论阶段，主要困难不在理论方面，而是经费方面。MERIT 主联测可能是一个实验的好机会，真正实现可能要到九十年代。我国可在两方面作出贡献。一是实测，我国幅员广大，在我国设置一到几个台站对全球参考系几何结构改善作用很大。二是理论和计算方案研究，深入研究建立地球参考系的各种理论问题，既为国际服务作出贡献，也可满足国内各应用部门的最新需要。

建立协议地球参考系 CTS 的方案甚多，较一致的想法是：CTS 应由一些全球分布台站的随时间变化的坐标来体现。这里有两步工作要做。

一是在 CTS 建立的初始历元  $T_0$  求出各测站的三维地心坐标  $(\underline{x})_0$ 。这  $(\underline{x})_0$  所体现的坐标系应是当前采用的 BIH-CIO 系统的连续。为了做到这一点，在求解  $(\underline{x})_0$  时，可把 BIH 的自转参数(极移，UTO-UTC)取为固定值。

二是求出在  $T_0$  历元以后时刻  $t$  的变化测站坐标  $(\underline{x})_t$ 。前面讲到，短周期变形(潮汐)已在测站观测中改正，在 CTS 问题上只考虑长期运动。因此不必考虑连续的  $(\underline{x})_t$  求解，只要每隔一定时间  $\Delta t$  求解一次即可。即在  $t = T_0 + \Delta t, \dots, T_0 + i \cdot \Delta t, \dots$  时求解  $(\underline{x})_t$ 。时间间隔  $\Delta t$  的长短取决于所要求的精度，运动的快慢、经费等等。这里的  $\Delta(\underline{x})_t = (\underline{x})_t - (\underline{x})_0$  是在维持 CTS 的前题下求出的测站坐标变化(形变)。前面讲到，维持 CTS 意味着在平均意义上它是固定在形变的地球上。从地球自转动力学来说，这应是 Tisserand 轴系<sup>〔6〕</sup>。从几何意义上说，这要求在所求出的  $\Delta(\underline{x})_t$  中不存在公共平移和公共旋转<sup>〔7〕</sup>。同时在实际平差计算中不难发现， $\Delta(\underline{x})_t$  是不能直接求解的。把  $\Delta(\underline{x})_t$  作未知数时列出的法方程秩亏。为了解决秩亏问题，数学上可采用广义逆(Pseudo inverse)或加一组内约束方程。已经证明，Tisserand 轴系、无公共旋转和平移、广义逆、以及内约束方程这四种处理方法或要求是基本一致的<sup>〔8〕</sup>。因此用这类方法来维持 CTS 是合理和可行的。

CTS 的建立原则上主要是上述两步工作。但实际还有许多细节要考虑，这里举一些例。测站的公共运动必然会混进所求出的地球自转参数之中。这不仅对研究长期极移等理论问题带来不良后果，对高精度地心坐标测定等实际工作也有影响。因此要求 CTS 的台站越多，分布越均匀越好。这样的 CTS 长期稳定性也就越好。实际上台站数及分布受种种



限制, 因此既要考虑台站怎样布置效果更好, 也要研究实际台站分布会带来多大的长期不稳定性误差。

每种新技术都有其优缺点。VLBI 基本是全天候的, 精度又最高, 但只能测基线向量分量(坐标差), 且设备较贵不易大规模设站。激光精度很好, 容易全球台网分布, 但观测受天气限制, 且人造天体有寿命限制, 长期稳定性有问题。多普勒精度差些, 但仪器便宜且轻便, 容易大规模设站。看来应该发挥各种技术的优点, 组成联合统一的 CTS。这就对并置提出了高要求, 同时对资料处理也会带来一些麻烦, 但这些困难是可以克服的<sup>[9]</sup>。

各种技术之间系统差怎样消除或减少, 相对权怎样确定, 如果其中的一种技术淘汰了, 怎样保持联合的 CTS 不受影响, 如果各种技术之间相对权变化了(比如某种技术今后精度有了改善)又怎样维持 CTS 的稳定? 同一种技术中, 如果老的测站停止观测或新的测站增加又应怎样处理? 将来如天文常数、大地测量常数有所变动, 又应怎样相应调整 CTS? 如此等等, 都是需要研究的现实问题。在经费困难条件下, 提出了所有测站间歇观测求定( $x$ ), 只要其中少数台站连续观测求地球自转参数的想法<sup>[9]</sup>。再有, 怎样把地球物理模型(特别是板块运动模型)应用到 CTS 的建立和维持中去, 这些都是有待研究和解决的。

总之, 空间大地测量必须要用到合适的参考坐标系; 而将来新的协议地球参考系的建立又必须依靠空间大地测量的观测来实现。这就是两者之间的关系。

### 参 考 文 献

- (1) G.A. Wilkins and M. Feissel (Edt) Project MERIT: Report on the Short Campaign and Grasse Workshop 1982
- (2) R.J. Anderls 1982, Doppler Test Results of Experimental GPS Receiver. NSWG TR 82-01
- (3) J.B. Minster and T.H. Jordan: 1978, J. Geophys. Res 83 5331
- (4) L. D. Hothem and T. Vincenty: 1981. Least Squares Analysis of Measurements From Advanced Geodetic Systems (Oral Presentation in Spring AGV Meeting. May 1981)
- (5) I.I. Mueller, S. Y. Zhu, and Y. Bock: Reference Frame Requirements and the MERIT Campaign. Reports of DGS & S No. 329 OSU 1982
- (6) H. W. Munk and J. F. G. Mac Donald(1960)  
“地球自转”, 有中译本
- (7) I.I. Mueller, 1981, Reference frame Requirments for Earth Dynamics. Proceedings of IAU Colloquium No.56
- (8) 朱圣源 新协议地面参考系建立中的若干问题。(待发表)
- (9) Y. Bock and S. Y. Zhu, On the Establishment and Maintenance of A Modern Conventional Terrestrial

# 卫星网点在地面网中的最佳分布

国家测绘局测绘科学研究所 周忠谟

## 内 容 提 要

本文从若干三角网模型出发,通过平差结果的数字分析,详细地讨论了卫星网点在地面网中的最佳分布,从而为卫星网的设计提供了有益的参考。

## 一、引 言

随着卫星大地测量学的发展,综合利用卫星网观测成果来改善地面网的精度,已成为当前大地测量学的重要任务之一<sup>[2, 3, 4]</sup>。而在两网的联合平差中,卫星网对地面网平差结果的影响,将决定于卫星网点的精度、密度及其在地面网中的分布。因此,为了合理地布设和应用卫星网,对此作些必要的研究,是具有现实意义的。

所谓卫星网点的最佳分布问题,即是在卫星站的数量及其观测精度相同的情况下,卫星网点在地面网中分布方案的最优化。

假设,地面网平差的误差方程为:

$$\underline{V} = \underline{A}\underline{X} + \underline{l} \quad (1-1)$$

相应的法方程式:

$$\underline{N}\underline{X} + \underline{W} = \underline{0} \quad (1-2)$$

其中,

$\underline{V}$ ——改正数向量

$\underline{A}$ ——系数矩阵

$\underline{X}$ ——未知数向量

$\underline{l}$ ——常数项向量

$\underline{N} = \underline{A}^T \underline{P} \underline{A}$

$\underline{W} = \underline{A}^T \underline{P} \underline{l}$

$\underline{P}$ ——权矩阵

由式(1-2)知:

$$\begin{aligned} \underline{X} &= -\underline{Q}\underline{W} \\ \underline{Q} &= \underline{N}^{-1} \end{aligned} \quad (1-3)$$

而平差后未知数的中误差

$$m_x = \sigma_0 \sqrt{Q_{xx}}$$

$\sigma_0$  —— 单位权中误差

$Q_{xx}$  —— 未知数的权倒数

若取未知数的函数式

$$F = \underline{f}^T \underline{X} \quad (1-4)$$

则其中误差已知为

$$m_F = \sigma_0 \sqrt{Q_{ff}} \quad (1-5)$$

其中

$$Q_{ff} = \underline{f}^T \underline{Q} \underline{f}$$

如果以  $Q_{ss}$  和  $Q_{\alpha\alpha}$  表示平差后三角点之间边长和方位角的权倒数，则有：

$$\frac{m_s}{s} = \sigma_0 \sqrt{Q_{\alpha\alpha}} / s \quad (1-6)$$

$$m_\alpha = \sigma_0 \sqrt{Q_{\alpha\alpha}}$$

其中

$m_s$  —— 边长中误差

$m_\alpha$  —— 边的方位中误差

$s$  —— 边长

在  $\sigma_0 \approx 1$  的情况下，式(1-6)可简化为：

$$m_s / s = \sqrt{Q_{\alpha\alpha}} / s \quad (1-7)$$

$$m_\alpha = \sqrt{Q_{\alpha\alpha}}$$

考虑到式(1-2)和(1-3)，则上式尚可进一步写为

$$\frac{m_s}{s} = \{ \underline{f}_s^T (\sum (A^T P A)_j)^{-1} \underline{f}_s \}^{1/2} / s \quad (1-8)$$

$$m_\alpha = \{ \underline{f}_\alpha^T (\sum (A^T P A)_j)^{-1} \underline{f}_\alpha \}^{1/2}$$

其中， $j$  为观测量的类型。

显然，对于一个已有的地面网，其精度的改善，一般来说，仅决定于补充观测量的类型，精度、密度和分布。

这里，我们以式(1-8)为目标函数，讨论了卫星网点的不同分布对平差后地面网精度的影响，并以此研究了卫星网点的最佳分布。而关于卫星站的精度和密度的影响参见[6]。

## 二、在三角锁中卫星网点的最佳分布

### 1. 模拟三角锁

为了研究卫星网点在三角锁中分布的优化问题，我们设计了如图 2-1 所示的模型。

该模型共包括 128 个点，142 个三角形，426 个观测角和 273 条边。三角形边长的平均值为 31.05 km。

在三角锁中，实测边和方位角的分布如图 2-1 中双线所示，实测量的观测精度如下：

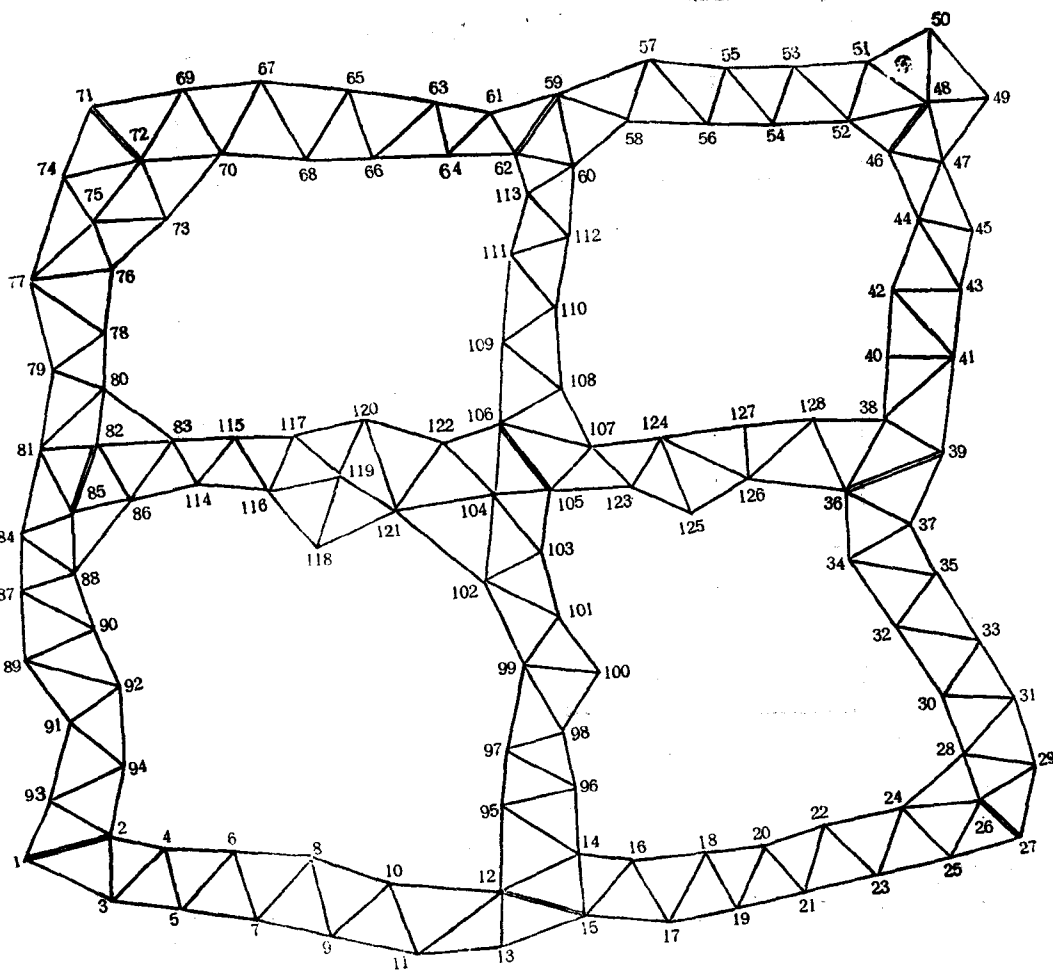


图 2-1 三角锁模型

测角中误差	$\pm 0.70''$
实测边的相对观测中误差	$\pm 1/350000$
实测方位角的观测中误差	$\pm 0.60''$

**2. 卫星网点的分布对平差后三角锁精度的影响**

为此，我们取卫星网点的分布方案如图 2-2 所示，并假设，卫星网点的坐标中误差为  $\pm 0.10(m)$ 。

这里，如果把三角锁中的三角形边长称为短边，而将表 2-1 中所列之边称为长边（其边长平均值为 303.68km），则在上述情况下，平差后三角锁短边和长边定向（方位）与尺度中误差（边长相对中误差）的平均值分别如表 2-2 和 2-3 所列。

为了明显地表示，由于卫星网点在锁中的分布不同，而引起平差后三角锁精度的变化，现根据以上数据作图表示于图 2-3 和 2-4。

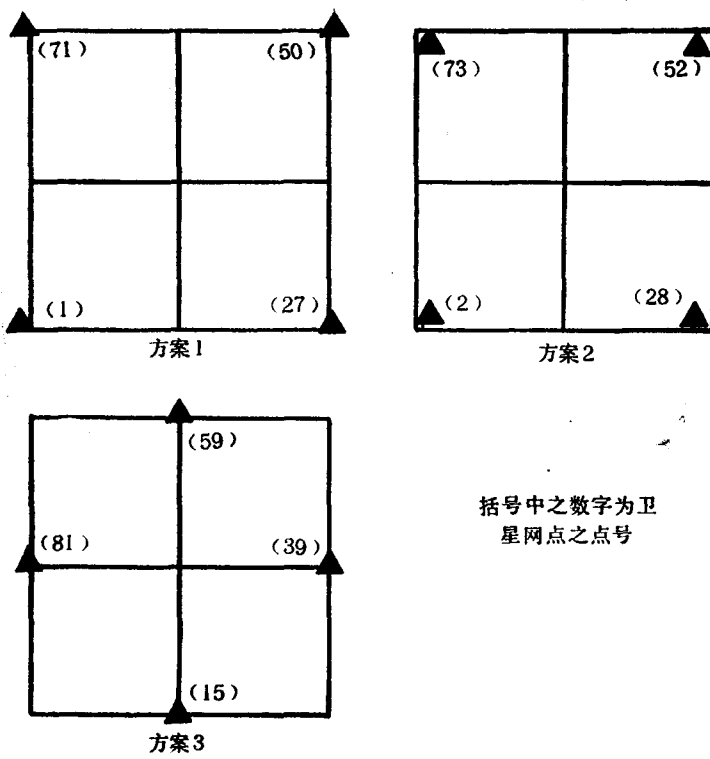


图 2-2 卫星网点的分布方案

锁中若干长边的长度

表 2-1

边号	边长(m)	边号	边长(m)	边号	边长(m)
25—69	458186	23—49	329504	78—92	153410
24—73	401071	1—27	425559	97—109	172389
19—67	404888	23—51	343376	118—125	162040
18—70	360688	5—23	299298	11—83	240175
5—35	353112	13—27	226074		
17—57	365542	77—89	163603		

平差后短边尺度与定向中误差的平均值

表 2-2

平均边长 (km)	中误差	卫星网点的分布方案		
		1	2	3
31.05	$m_s/s(10^{-5})$	0.368	0.370	0.371
	$m_s(^{\circ})$	0.703	0.709	0.715

平差后长边尺度与定向中误差的平均值

表 2-3

平均边长 (km)	中误差	卫星网点的分布方案		
		1	2	3
303.68	$m_s/s(10^{-5})$	0.112	0.113	0.143
	$m_a(^{\circ})$	0.233	0.237	0.291

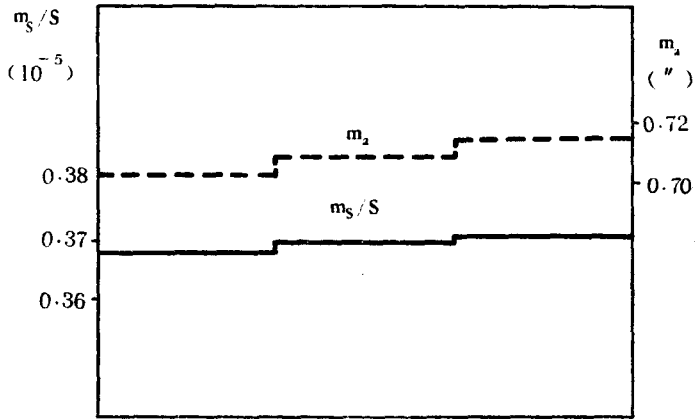
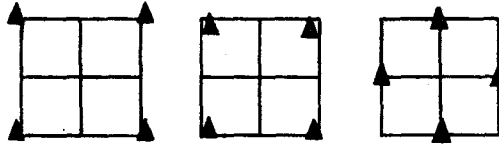


图2-3 平差后短边边长与方位中误差平均值的变化

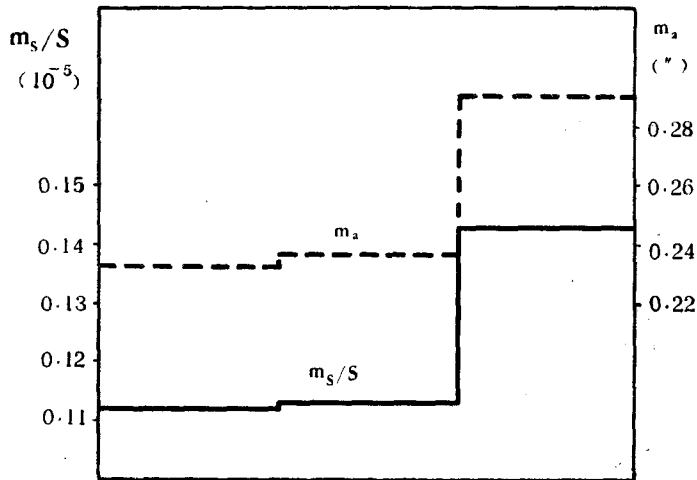


图 2-4 平差后长边边长与方位中误差平均值的变化

### 3. 结论

1) 方案 1 较方案 2, 仅使平差后三角锁短边和长边精度的平均值提高约 0.7% 和 1.3%, 其差别微小。

2) 方案 1 与方案 3 相比, 平差后三角锁短边精度的平均值提高约 1.2%, 而长边精度的平均值提高约 26.3%。所以, 就卫星网点的上述分布方案而言, 应以方案 1 为优。

## 三、卫星网点在已联测的独立三角网中的最佳分布

### 1. 模拟联测网

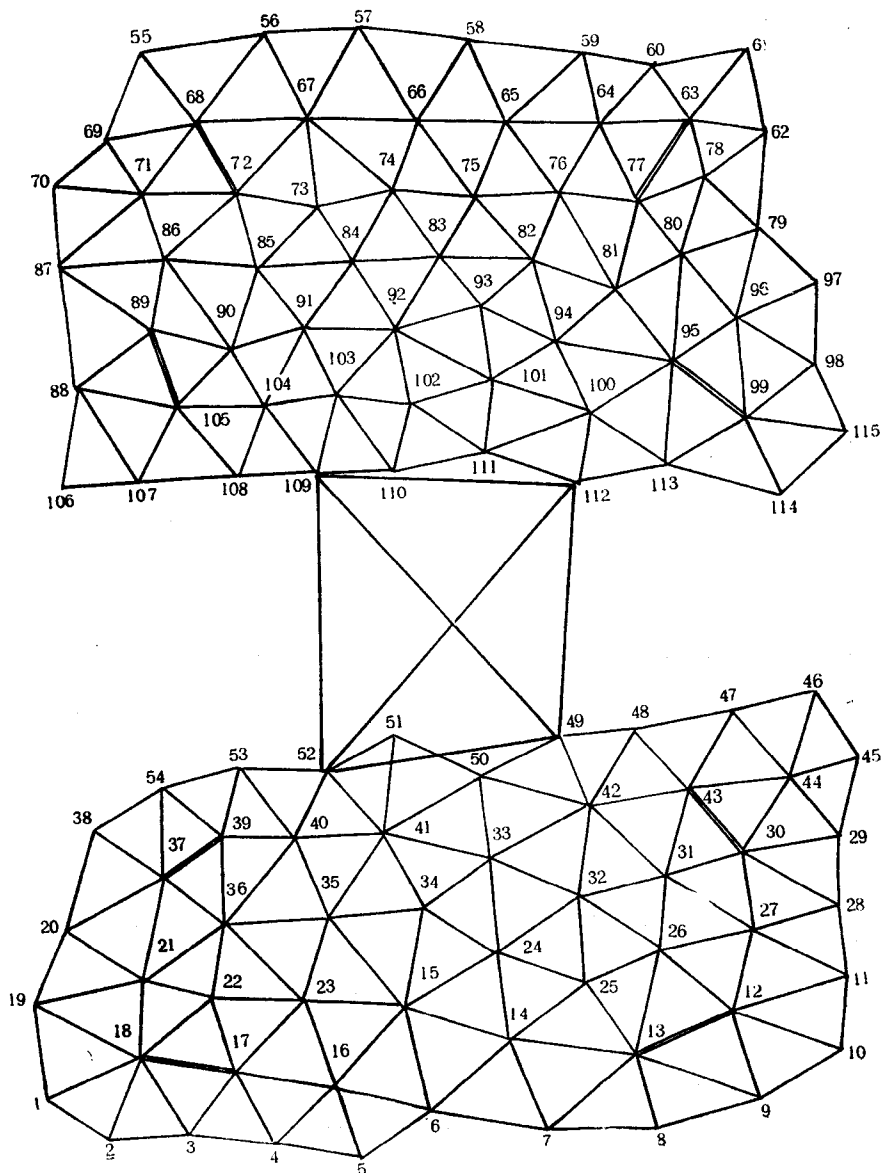


图 3-1 三角网模型

假设，联测的独立三角网模型如图 3-1 所示。其中包括 115 个点，175 个三角形，525 个观测角和 288 条边。三角形边长的平均值为 24.85km。

在两个独立三角网中，实测边和方位角的分布如图 3-1 中双线所示。假设，两网已按图 3-1 所示方案，以实测边进行了联测，同时网中实测量的观测精度如下：

测角中误差	$\pm 1.0''$
实测方位角的观测中误差	$\pm 0.6''$
实测边的相对观测中误差	$\pm 1/350000$
联测边的相对观测中误差	$\pm 1/300000$

## 2. 卫星网点的分布对平差后三角网精度的影响

为了研究卫星网点的分布对平差后三角网精度的影响，现设计方案如下：

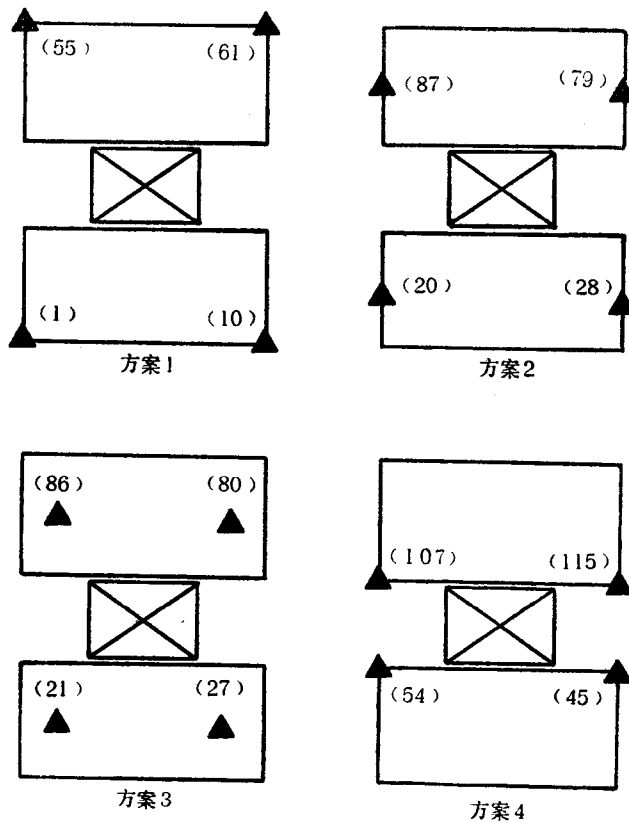


图 3-2 卫星网点的分布方案

同样，在此我们把网中的三角形边称为短边，而将表 3-1 中所列的边称为长边。于是，相应上述各方案，平差后三角网短边和长边精度的计算结果分别列于表 3-2 和 3-3。

边长(47-113)是网中的弱边之一。为了比较其平差后精度的变化，现将相应的计算结果列于表 3-4。



网中若干长边的长度

表 3-1

边号	边长(m)	边号	边长(m)	边号	边长(m)
9—69	320780	1—69	267250	16—67	269892
2—60	334897	9—60	289187		
1—55	292474	5—57	315723		

平差后三角网短边尺度与定向中误差的平均值

表 3-2

平均边长 (km)	中误差	卫星网点的分布方案			
		1	2	3	4
24.85	$m_s/s(10^{-5})$	0.345	0.347	0.351	0.352
	$m_a(^{\circ})$	0.691	0.690	0.699	0.706

平差后三角网长边尺度与定向中误差的平均值

表 3-3

平均边长 (km)	中误差	卫星网点的分布方案			
		1	2	3	4
298.60	$m_s/s(10^{-5})$	0.062	0.083	0.078	0.107
	$m_a(^{\circ})$	0.135	0.182	0.162	0.237

平差后边长(47-113)之尺度与定向的中误差

表 3-4

边长 (km)	中误差	卫星网点的分布方案			
		1	2	3	4
71.78	$m_s/s(10^{-5})$	0.377	0.325	0.317	0.257
	$m_a(^{\circ})$	0.855	0.707	0.665	0.589

三角网平差后, 以上各边精度随卫星网点分布的变化情况, 分别表示于图 3-3 至图 3-5。

### 3. 几点结论

由以上的数据分析可得:

1) 卫星网点在地面网中的不同分布, 对平差后三角网短边精度的影响是较小的。就以上四种方案而言, 对尺度与定向精度的影响最大为 2.2%。方案 1 的分布仅略优于其余的方案。

2) 卫星网点的分布对平差后长边精度的影响较为明显。例如, 方案 1 较之方案 4 将使平差后长边精度的平均值提高约 74.1%。

3) 与上述情况相反, 对于弱边(47-113)平差后的精度而言, 方案 4 较之方案 1 平均提高约 45.8%。