

# 特级导线的精度计算和分析

尹任祥 刘大杰

## 摘 要

作者采用多种方案对特级导线进行精度计算, 根据计算结果, 综合分析了三种提高特级导线精度的方法, 从而提出了在我国布设特级导线的两种最佳方案。

### 一

在沿国家一等三角锁的一侧布设特级导线时, 由于测距精度较高, 使得导线的横向精度大大低于纵向精度。因此, 要提高特级导线点的点位精度, 应着重考虑如何提高横向精度的问题。一般认为, 提高特级导线横向精度的主要方法<sup>[1]</sup>是:

- 1、在导线边上适当加测天文方位角;
- 2、在导线上加测人卫长边方位角;
- 3、对特级导线进行平差时, 在其两侧增加若干排一、二等三角锁一并平差。

为了探讨这三种方法对提高特级导线精度的作用, 我们一方面对等边直伸导线及其两侧增加若干排等边三角锁进行精度计算, 同时对一条近于直伸的实测导线作了精度计算。

精度计算在 TQ—16 机和 PC—1500 机上进行, 并根据不同的情况分别采用条件平差法和间接平差法。计算时方向观测值的中误差取为  $m_0 = \pm 0''5$  和  $\pm 0''35$ ; 加测的天文方位角的个数取为  $N_a = 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9$  和  $16$ , 其中误差取为  $m_a = \pm 1''0, \pm 0''7, \pm 0''5$ ; 人卫长边方位角的个数取为  $N'_a = 1$  和  $2$ , 其中误差取为  $m'_a = \pm 1''0, \pm 0''5, \pm 0''35$  和  $\pm 0''25$ 。由选取不同的  $m_0, m_a, m'_a$  和  $N_a, N'_a$  等构成多种方案进行计算。

本文根据 63 种方案计算得到的结果进行综合分析, 提出了在我国布设特级导线的最佳方案。

### 二

为了考察〔2〕中就天文方位角对等边直伸导线的精度影响所作的分析是否也适合于实测导线, 采用了以下几类方案(共 28 种)对所选取的实测导线(如图一)作了精度计算:

- 1、将天文方位角  $\alpha$  作为观测值, 取  $m_0 = \pm 0''5, m_a = \pm 1''0, N_a = 2, 3, 4,$

5, 6, 9和16;

2、将 $\alpha$ 作为观测值,取 $m_0 = m_\alpha = \pm 0''5$ ,  $N_\alpha = 2, 3, 4, 6, 8$ 和16;

3、将 $\alpha$ 作为观测值,取 $m_0 = \pm 0''35$ ,  $m_\alpha = \pm 1''0$ ,  $N_\alpha = 5$ 和9;

4、将 $\alpha$ 作为固定值,而考虑它们的误差影响,取 $m_0 = \pm 0''5$ ,  $m_\alpha = \pm 1''0$ ,  $N_\alpha = 2, 3, 5, 8$ 和16;

5、将 $\alpha$ 作为固定值,考虑它们的误差影响,取 $m_0 = m_\alpha = \pm 0''5$ ,  $N_\alpha = 2, 3, 4, 6, 8$ 和16;

6、将 $\alpha$ 作为固定值,但不考虑它们的误差影响,取 $m_0 = \pm 0''5$ ,  $N_\alpha = 3$ 和5。

按上述各方案对各导线点作了精度计算。这里仅将端点B和中点(8号点)的纵、横坐标中误差( $M_x$ 、 $M_y$ )和点位中误差( $M$ )列于表一,同时在

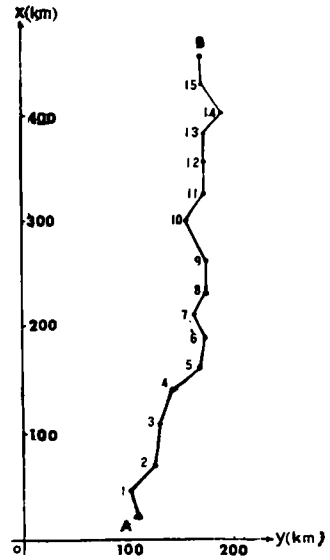
表一中还列出了相应的相对点位中误差( $M/S$ )及每增加一个天文方位角点位中误差的递减量( $\Delta M/\Delta N_\alpha$ )。此外,还将由第1类方案算得的各导线点的点位中误差绘于图二。图中横轴表示点号,纵轴表示点位中误差( $M$ )。图中的曲线表示了当点号增大,也就是当离原点的距离增加时,导线点的点位中误差变化的情况。因各导线点的横坐标中误差 $M_y$ (可以看成是横向中误差)的变化与此相似,故未给出。

由表1的结果和图二的曲线可作以下分析:

1、各导线点的横向精度和点位精度均随天文方位角个数的增加而提高,但精度提高的幅度逐渐减小,当 $N_\alpha$ 大于6时,精度提高很少。例如,在将 $\alpha$ 作为观测值的第1类方案中,当 $N_\alpha$ 由2(方案1.1)增加到3和4(方案1.2和1.3)时,B点的点位中误差由 $\pm 2.185^m$ 减小到 $\pm 1.485^m$ 和 $\pm 1.208^m$ ;每增加一个天文方位角,B点点位中误差减小 $\pm 0.700^m$ 和 $\pm 0.277^m$ ;但当 $N_\alpha$ 大于6时,每增加一个天文方位角,B点的点位中误差的平均递减量仅为 $\pm 0.068 \sim \pm 0.029^m$ 。表1中的第二类方案也可看到这种变化;图二的曲线也反映了这种变化。

2、在将天文方位角作为固定值,而考虑它们的误差影响(第4类和第5类方案)时,各导线点的点位精度与横向精度的变化情况与第1类和第2类方案相似。表1中的数值表明,第4、5类方案的点位误差和横向误差,均比第1、2类中相应的方案大,但相差较小。例如方案(1.2)与相应的(4.2), $M_B$ 仅相差 $\pm 0.027^m$ , $M_{y_B}$ 仅相差 $\pm 0.026^m$ ,是 $M_B$ 和 $M_{y_B}$ 的2%。当方位角的精度提高时,相差更小。

3、将表1中的第6类方案(6.1)、(6.2)与第4类中相应的方案(4.2)、(4.3)比较可知,将天文方位角作为固定值且不考虑其误差影响时,所得到的 $M_x, M_y, M$ 都远小于考虑其误差影响时所得的数值,这并不说明第6类方案的精度高,而是说明这一类方案所得到的精度值不能正确反映导线点的实际精度。



图一

表1 实测导线加测天文方位角时的精度

计算方案	B								8				备注
	$M_x$ (m)	$M_y$ (m)	$M_B$ (m)	$\Delta M/\Delta N$ (m)	$M_B/S_{AB}$ (1/万)	$M_x$ (m)	$M_y$ (m)	$M_B$ (m)	$\Delta M/\Delta N_a$ (m)	$M_B/S_{A_8}$ (1/万)			
1.1	2	0.402	2.148	2.185		0.367	1.132	1.190		1/17.7	$\alpha$ 作观测值		
1.2	3	0.340	1.446	1.485	0.700	0.312	0.903	0.955	0.235	1/22.1	$m_0 = \pm 0'5$		
1.3	4	0.278	1.175	1.208	0.277	0.253	0.712	0.756	0.199	1/27.9	$m_a = \pm 1'0$		
1.4	5	0.261	1.021	1.054	0.154	0.231	0.650	0.690	0.066	1/30.6			
1.5	6	0.250	0.928	0.961	0.093	0.222	0.601	0.641	0.049	1/30.0			
1.6	9	0.221	0.721	0.756	0.068	0.190	0.520	0.555	0.029	1/38.1			
1.7	16	0.188	0.520	0.553	0.029	0.151	0.343	0.375	0.026	1/56.3			
2.1	2	0.351	1.744	1.778		0.312	0.915	0.967		1/21.8	$\alpha$ 作观测值		
2.2	3	0.277	1.018	1.055	0.723	0.248	0.615	0.663	0.304	1/31.9	$m_0 = \pm 0'5$		
2.3	4	0.225	0.749	0.782	0.273	0.198	0.477	0.517	0.146	1/40.9	$m_a = \pm 0'5$		
2.4	6	0.198	0.527	0.563	0.110	0.165	0.345	0.383	0.067	1/55.1			
2.5	8	0.179	0.426	0.462	0.051	0.145	0.273	0.309	0.037	1/68.4			
2.6	16	0.153	0.266	0.307	0.019	0.114	0.181	0.214	0.012	1/98.7			

续表 1

3.1	5	0.235	0.975	1.003	1/42.5	0.207	0.595	0.630	1/33.3	$\alpha$ 作观测值 $m_0 = \pm 0''35$ $m_a = \pm 1''0$
3.2	9	0.203	0.708	0.736	1/57.9	0.173	0.451	0.483	1/43.7	
4.1	2	0.407	2.148	2.180	1/19.5	0.370	1.146	1.204	1/17.5	$\alpha$ 作固定值， 考虑其误差 影响
4.2	3	0.349	1.472	1.512	1/28.2	0.317	0.925	0.978	1/21.6	
4.3	5	0.287	1.039	1.078	1/39.0	0.254	0.690	0.736	1/28.7	
4.4	8	0.250	0.771	0.811	1/52.5	0.213	0.502	0.545	1/38.8	$m_0 = \pm 0''5$
4.5	16	0.234	0.531	0.588	1/72.5	0.210	0.359	0.416	1/50.8	$m_a = \pm 1''0$
5.1	2	0.352	1.743	1.779	1/24.0	0.315	0.916	0.968	1/21.8	$\alpha$ 作固定值， 考虑其误差 影响
5.2	3	0.278	1.021	1.058	1/40.3	0.252	0.617	0.666	1/31.7	
5.3	4	0.226	0.751	0.785	1/54.3	0.205	0.483	0.523	1/40.4	
5.4	6	0.203	0.530	0.567	1/74.1	0.169	0.351	0.390	1/54.2	$m_0 = m_a = \pm 0''5$
5.5	8	0.183	0.428	0.466	1/91.5	0.148	0.277	0.315	1/67.1	
5.6	16	0.168	0.269	0.317	1/134.4	0.129	0.184	0.224	1/94.3	
6.1	3	0.235	0.975	1.003	1/42.5	0.207	0.595	0.630	1/33.5	$\alpha$ 作固定值，不 考虑其误差影响
6.2	5	0.203	0.708	0.736	1/57.9	0.173	0.451	0.483	1/43.7	$m_0 = \pm 0''5$

表2 实测导线加测人卫长边方位角时的精度

编号	计算方案				B				8				备注				
	$N_a$	$N'_a$	$m_0$	$m'_a$	$m_a$	$m'_a$	"	"	$M_x$	$M_y$	$M_B$	$M_B/S_{A,B}$		$M_x$	$M_y$	$M_8$	$M_8/S_{A,8}$
1.1	2		0.5	1.0	0.261	0.898	0.936	1/45.5	0.241	0.656	0.936	1/45.5	0.241	0.656	0.699	1/30.2	B点为多普勒定
1.2	3		0.5	1.0	0.261	0.815	0.855	1/49.8	0.240	0.650	0.855	1/49.8	0.240	0.650	0.693	1/30.5	位点, 取
1.3	4		0.5	1.0	0.239	0.757	0.794	1/53.7	0.214	0.559	0.794	1/53.7	0.214	0.559	0.598	1/35.3	$m_{x_B} = m_{y_B} =$
1.4	5		0.5	1.0	0.229	0.710	0.746	1/57.1	0.201	0.529	0.746	1/57.1	0.201	0.529	0.566	1/37.3	$\pm 1^m$
1.5	6		0.5	1.0	0.224	0.677	0.713	1/59.8	0.196	0.500	0.713	1/59.8	0.196	0.500	0.537	1/39.3	$\alpha$ 作观测值
1.6	9		0.5	1.0	0.206	0.583	0.619	1/68.8	0.176	0.421	0.619	1/68.8	0.176	0.421	0.456	1/46.3	
2.1	2	1	0.5	1.0	0.323	1.480	1.515	1/28.1	0.295	0.863	1.515	1/28.1	0.295	0.863	0.912	1/23.2	$\alpha, \alpha_{A,B}$ 作观测值
2.2	3	1	0.5	1.0	0.268	0.833	0.875	1/48.7	0.246	0.662	0.875	1/48.7	0.246	0.662	0.706	1/29.9	
2.3	3	1	0.35	1.0	0.219	0.629	0.666	1/54.0	0.193	0.510	0.666	1/54.0	0.193	0.510	0.545	1/38.8	
2.4	3	1	0.35	1.0	0.209	0.473	0.517	1/82.4	0.182	0.464	0.517	1/82.4	0.182	0.464	0.499	1/42.3	
2.5	3	1	0.35	0.7	0.198	0.452	0.493	1/86.4	0.174	0.422	0.493	1/86.4	0.174	0.422	0.457	1/46.2	
2.6	5	1	0.35	1.0	0.202	0.577	0.611	1/69.8	0.172	0.443	0.611	1/69.8	0.172	0.443	0.476	1/44.4	
2.7	5	1	0.35	1.0	0.195	0.449	0.490	1/87.0	0.164	0.404	0.490	1/87.0	0.164	0.404	0.436	1/48.4	

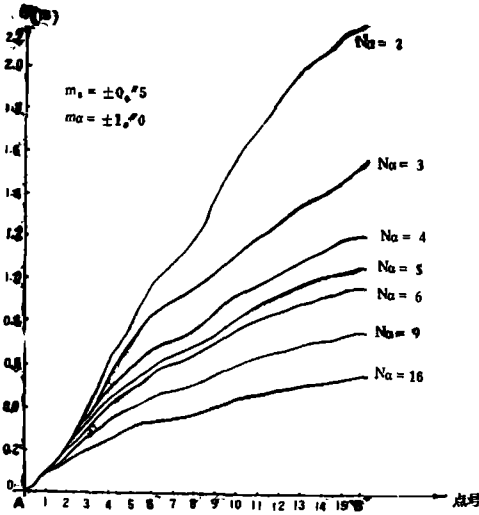
表续 2

2.8	5	1	0.35	0.7	0.35	0.187	0.506	0.539	1/79.1	0.156	0.376	0.407	1/51.9	作观测值
2.9	5	1	0.35	0.7	0.25	0.181	0.413	0.451	1/94.5	0.150	0.345	0.376	1/56.2	
3.1	3	2	0.35	1.0	0.25	0.181	0.446	0.481	1/88.6	0.148	0.335	0.367	1/57.6	$\alpha, \alpha'_{A,B}, \alpha'_{A,B}$ 作观测值
3.2	5	2	0.35	1.0	0.25	0.176	0.423	0.458	1/93.1	0.141	0.310	0.341	1/61.9	
4.1	3	1	0.35	1.0	0.35	0.312	0.705	0.771	1/55.3	0.253	0.641	0.689	1/30.7	$\alpha, \alpha'_{A,B}$ 作固定 值, 考虑它们 的误差影响
4.2	3	1	0.35	1.0	0.25	0.283	0.499	0.574	1/74.2	0.228	0.566	0.609	1/34.7	
4.3	3	1	0.35	0.7	0.35	0.278	0.705	0.758	1/56.2	0.230	0.574	0.619	1/34.1	
4.4	3	1	0.35	0.7	0.25	0.245	0.499	0.556	1/76.6	0.203	0.488	0.528	1/40.0	
4.5	5	1	0.35	0.7	0.35	0.244	0.709	0.750	1/56.8	0.194	0.511	0.547	1/38.6	
4.6	5	1	0.35	0.7	0.25	0.127	0.502	0.547	1/77.9	0.175	0.425	0.459	1/46.0	
5.1	3	1	0.35			0.152	0.020	0.153	1/228.5	0.138	0.261	0.295	1/71.6	$\alpha, \alpha'_{A,B}$ 作固定 值, 不考虑它 们的误差影响
5.2	5	1	0.35			0.141	0.018	0.142	1/300.1	0.108	0.136	0.174	1/121.4	

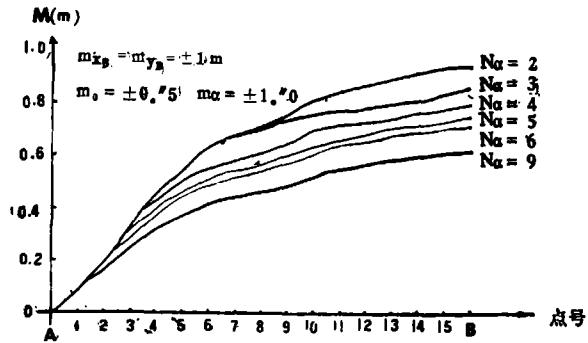
4、表1中列出的各种方案所得的纵向误差(可以用  $M_x$  代表)的数值表明,加测天文方位角对提高近于直伸的导线纵向精度也有一点作用,但作用较小。

5、表1中的第3类方案是按天文方位角和一等三角网方向观测值的实际精度,取  $m_\alpha = \pm 1''$  和  $m_0 = \pm 0''35$  计算,结果表明,当取  $N_\alpha = 5$  和  $9$ ,即在导线上每4条或每两条边加测一个天文方位角时,距离仍为420公里的实测导线端点的相对点位精度仅能达到  $1/42.5$  万和  $1/57.9$  万。可见,不能以加测天文方位角作为唯一的提高导线精度的方法。

不难看出,上述分析与〔2〕中对等边直伸导线的分析结果是一致的。



图二



图三

三

人卫长边方位角可以通过各种人卫测量方法得到。例如,应用卫星多普勒定位方法,由两点坐标反算其方位角时,若定位中误差为  $\pm 1$  米,对于距离为200公里和400公里的两点,所得到的长边方位角的中误差为  $\pm 1''$  和  $\pm 0''5$ ;若定位中误差达到  $\pm 0.5$  米(如卫星多普勒网),则距离为200公里和400公里的长边方位角的中误差为  $\pm 0''5$  和  $0''25$ 。

可以证明,对于等边直伸导线,以卫星定位的坐标作为观测值参加导线平差,和以相应精度的长边方位角为观测值平差,两种方法所得到的导线端点的横向精度相同。

为探讨人卫长边方位角  $\alpha'$  对提高特级导线精度的作用,采用了多种方案对等边直伸导线和图一的实测导线进行精度计算。因为对两种导线的计算结果一致,下面仅列出对实测导线的部分计算结果。这些计算方案可分为五个类型(共25种):

1、天文方位角  $\alpha$  和卫星定位点(B)的坐标作观测值,取  $m_0 = \pm 0''5$ ,  $m_\alpha = \pm 1''$ ,  $m_{x_B} = m_{y_B} = \pm 1^m$ ,  $N_\alpha = 2, 3, 4, 5, 6, 9$ ;

2、天文方位角  $\alpha$  和人卫长边方位角  $\alpha'_{AB}$  作观测值,取  $m_0 = \pm 0''5$ ,  $\pm 0''35$ ;  $m_\alpha = \pm 1''$ ,  $\pm 0''7$ ;  $m_{\alpha_{AB}} = \pm 1''$ ,  $\pm 0''5$ ,  $\pm 0''35$ ,  $\pm 0''25$ ;  $N_\alpha = 2, 3, 5$ ;

3、天文方位角  $\alpha$  和人卫长边方位角  $\alpha'_{AB}$ ,  $\alpha'_{AS}$  作观测值,取  $m_0 = \pm 0''35$ ,  $m_\alpha = \pm 1''$ ;

$N_a = 3, 5; m'_{\alpha_{AB}} = \pm 0''.25, m'_{\alpha_{A8}} = \pm 0''.5;$

4、天文方位角  $\alpha$  与长边方位角  $\alpha'_{AB}$  作为固定值, 考虑它们的误差影响, 取  $m_0 = \pm 0''.35; m_\alpha = \pm 1''.0, \pm 0''.7; N_a = 3, 5; m'_{\alpha_{AB}} = \pm 0''.35, \pm 0''.25;$

5、天文方位角  $\alpha$  与长边方位角  $\alpha'_{AB}$  作为固定值, 且不考虑它们的误差影响, 取  $m_0 = \pm 0''.35$ 。

将上述五类方案所得到的 B 点和 8 号点的点位精度  $M$  和  $M_x, M_y$ , 以及相对点位精度 ( $M/S$ ) 列于表 2, 而将按第 1 类方案所得到的各导线点的点位精度绘于图三。根据表 2 和图三可作以下分析:

1、比较表 2 中的方案 (1.2) 和 (2.2) 的结果可以看到, 两方案所得到的 B 点点位误差  $M$  仅差  $0.020^m$ ,  $M_x$  和  $M_y$  仅差  $0.007^m$  和  $0.018^m$ ; 8 号点的  $M, M_x$  和  $M_y$  仅差  $0.013^m, 0.006^m$  和  $0.012^m$ , 两方案所得到的其它各点的点位精度之差值均小于  $0.020^m$ 。这说明对近于直伸的实测导线来说, 以卫星定位得到的坐标为观测值, 和以相应精度的长边方位角为观测值平差所得的精度也很接近。

2、图三也反映出加测一个长边方位角后各导线点的点位精度的变化情况 (也可以代表横向精度的变化情况), 将图三和图二的曲线比较, 在加测长边方位角或对导线端点 A、B 进行人卫定位的情况下, 导线点的点位精度和横向精度提高很快。例如, 由表 2 中的方案 (1.1) 可知, 当  $N_a = 2, m_0 = \pm 0''.5, m_\alpha = \pm 1''.0, m'_{\alpha_{AB}} = \pm 0''.5$  时, 对 B 点和 8 号点有:

$$M_{y_B} = \pm 0.898^m, \quad M_B = \pm 0.936^m, \quad \frac{M_B}{S_{AB}} = \frac{1}{45.5 \text{万}},$$

$$M_{y_8} = \pm 0.656^m, \quad M_8 = \pm 0.699^m, \quad \frac{M_8}{S_{A8}} = \frac{1}{30.2 \text{万}},$$

而当不加测  $\alpha'_{AB}$ ,  $m_0 = \pm 0''.5, m_\alpha = \pm 1''.0, N_a = 2, 3$  (即表 1 中的方案 1.1 和 1.2), 有

$$M_{y_B} = \begin{cases} \pm 2.148^m \\ \pm 1.446^m \end{cases}, \quad M_B = \begin{cases} \pm 2.185^m \\ \pm 1.485^m \end{cases}, \quad \frac{M_B}{S_{AB}} = \begin{cases} 1/19.5 \text{万} \\ 1/28.7 \text{万} \end{cases},$$

$$M_{y_8} = \begin{cases} \pm 1.132^m \\ \pm 1.446^m \end{cases}, \quad M_8 = \begin{cases} \pm 1.190^m \\ \pm 0.903^m \end{cases}, \quad \frac{M_8}{S_{A8}} = \begin{cases} 1/17.7 \text{万} \\ 1/22.1 \text{万} \end{cases},$$

可见, 加测长边方位角或将端点作为人卫定位点, 是提高特级导线精度的有效方法。

3、表 2 中的 (4.1) ~ (4.6) 是将长边方位角  $\alpha'_{AB}$  和天文方位角  $\alpha$  当作固定值, 而考虑其误差影响的方案。可以把它们的结果与相应的将  $\alpha'_{AB}$  和  $\alpha$  作为观测值的 (2.3) ~ (2.9) 方案的结果比较。例如都取  $m_0 = \pm 0''.35, m_\alpha = \pm 1''.0, m'_{\alpha_{AB}} = \pm 0''.25, N_a = 3$ , 由 (4.2) 方案得

$$M_B = \pm 0.574^m, \quad M_B/S_{AB} = 1/74.2 \text{万},$$

$$M_8 = \pm 0.609^m, \quad M_8/S_{A8} = 1/34.7 \text{万},$$

而由相应的 (2.4) 方案得:

$$M_B = \pm 0.517^m, \quad M_B/S_{AB} = 1/82.4 \text{万},$$

$$M_8 = \pm 0.499^m, \quad M_8/S_{A8} = 1/42.3 \text{万},$$



可见,在加测长边方位角的情况下,两种方案的结果相差较大,因此,将 $\alpha'$ , $\alpha$ 当作观测值为宜。

4、由表2可以看到,长边方位角的精度对导线的精度影响显著,例如,将 $m'_{\alpha_{AB}}$ 由 $\pm 0''35$ (方案2.6)减小到 $\pm 0''25$ (方案2.7),B点的相对点位精度即由 $1/69.8$ 万提高到 $1/87.0$ 万。

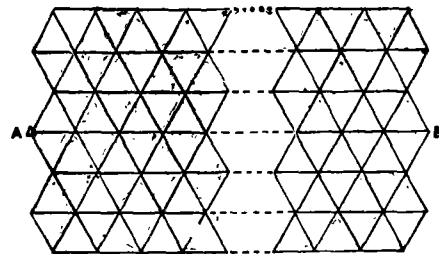
5、(5.1)和(5.2)是将 $\alpha$ 和 $\alpha'$ 作为固定值,而不考虑其误差影响的方案。将其结果与相应的方案(4.1)和(4.2)比较可知,第5类方案所得到的精度与其实际精度相差很大。

6、由表2可以看到,采用方案(2.7),即取 $N_{\alpha} = 5$ , $m_0 = \pm 0''35$ , $m_{\alpha} = \pm 1''0$ , $m_{\alpha_{AB}} = \pm 0''25$ ,导线端点B和中点8的相对点位精度可分别达到 $1/87.0$ 万和 $1/48.4$ 万;而采用方案(3.1)即取 $N_{\alpha} = 3$ , $m_0 = \pm 0.35$ , $m_{\alpha} = \pm 1.0$ , $m'_{\alpha_{AB}} = \pm 0''25$ ,和 $m'_{\alpha_{A8}} = \pm 0''5$ ,B点和8号点的相对点位精度分别为 $1/88.6$ 万和 $1/57.6$ 万。这两种方案的各项精度可以达到,而增加的工作量较少,因此,可以说这是两种较理想的方案。

#### 四

将导线两侧的三角锁参加特级导线平差的方案,是一种不增加外业工作,而只增加计算工作的方法。为讨论这种方法对提高横向精度的作用,将等边直伸导线两侧各增加若干排等边三角锁(如图四),按以下10种方案对导线上各点的横向精度 $M_u$ 进行估算:

- 1、不增加三角锁(即单一等边直伸导线);
- 2、在一侧增加一排;
- 3、在一侧增加二排;
- 4、在一侧增加三排;
- 5、两侧各增加一排;
- 6、一侧增加二排,另一侧增加一排;
- 7、一侧增加三排,另一侧增加一排;
- 8、两侧各增加二排;
- 9、一侧增加三排,另一侧增加二排;
- 10、两侧各增加三排。



图四

同时还考虑加测不同的天文方位角,将它们作为观测值,根据这种规则图形的规律,采用条件平差法编程序进行计算。这里仅列出在以上10种情况下,当导线总长为 $S = 175$ 公里,导线点数为 $N = 8$ ,加测的天文方位角个数 $N_{\alpha} = 3$ ,并取 $m_0 = \pm 0''35$ , $m_{\alpha} = \pm 0''5$ , $\pm 0''7$ 和 $\pm 1''0$ 时,导线端点的横向精度值(如表3),而在表4中仅列出在1,5两种情况下,取 $m_0 = \pm 0''35$ , $m_{\alpha} = \pm 0''5$ , $\pm 0''7$ , $\pm 1''0$ , $N = 10$ , $N_{\alpha} = 2, 3, 5, 9$ 时,导线端点的横向精度 $M_u$ 值。由表3、表4的结果可以清楚地看到:

1、增加三角锁对提高导线点精度的作用,较之于加测天文方位角或加测人卫长边方位角的作用要差,例如当 $N_{\alpha} = 2$ , $m_{\alpha} = \pm 1''0$ 时,不增加三角锁的方案得 $M_u = \pm 0.866^m$ ;两侧各增加一排三角锁的方案5得 $M_u = \pm 0.808^m$ ,仅减小 $\pm 0.058^m$ ,但不增加三角锁,而再加一个天文方位角,使 $N_{\alpha} = 3$ 可得 $M_u = \pm 0.662^m$ ,减少了 $\pm 0.204^m$ 。

表3 等边直伸导线增加三角锁时的横向精度

m <sub>a</sub>	±0"5			±0"7			±1"0		
	M <sub>u</sub> (m)	ΔM <sub>u</sub> (m)	M <sub>u</sub> /S (1/万)	M <sub>u</sub> (m)	ΔM <sub>u</sub> (m)	M <sub>u</sub> /S (1/万)	M <sub>u</sub> (m)	ΔM <sub>u</sub> (m)	M <sub>u</sub> /S (1/万)
1	0.2755	0.0076	1/63.5	0.3659	0.0061	1/47.8	0.5065	0.0046	1/34.6
2	0.2679	0.0008	1/65.3	0.3598	0.0006	1/48.6	0.5019	0.0005	1/34.9
3	0.2671		1/65.5	0.3592		1/48.7	0.5014		1/34.9
4	0.2670	0.0001	1/65.5	0.3590	0.0002	1/48.7	0.5013	0.0001	1/34.9
5	0.2645	0.0025	1/66.2	0.3572	0.0018	1/49.0	0.5000	0.0013	1/35.0
6	0.2641	0.0004	1/66.3	0.3569	0.0003	1/49.0	0.4998	0.0002	1/35.0
7	0.2640	0.0001	1/66.3	0.3568	0.0001	1/49.0	0.4997	0.0001	1/35.0
8	0.2638	0.0002	1/66.3	0.3566	0.0002	1/49.1	0.4996	0.0001	1/35.0
9	0.2637	0.0001	1/66.4	0.3566	0.0000	1/49.1	0.4995	0.0001	1/35.0
10	0.2636	0.0001	1/66.4	0.3566	0.0000	1/49.1	0.4995	0.0000	1/35.0

$S = 175\text{km}, \frac{m_s}{S} = \frac{1}{65\text{万}}, S_t = 25\text{km}, N = 8,$

$N_a = 3, m_0 = \pm 0"35 \quad \Delta M_u = M_u^{(1)} - M_u^{(1-1)}$

备注

2、在两侧增加多排三角锁对提高导线精度的作用很小,从表3中可看到,在 $m_a = 1''0$ 时,从方案1到方案2, $M_u$ 减少 $\pm 0.0046^m$ ,但从方案5到方案10仅减少 $\pm 0.0005^m$ 。

由此可见,在特级导线平差时,不必要增加多排三角锁,最多增加导线一侧的一等三角锁和另一侧的二等网锁。

表4 等边直伸导线增加三角锁和加测天文方位角的横向精度比较

$m_a$	$\pm 0''5$			$\pm 0''7$			$\pm 1''0$		
	(1) $M_u$ (m)	(5) $M_u$ (m)	$\Delta M_u$ (m)	(1) $M_u$ (m)	(5) $M_u$ (m)	$\Delta M_u$ (m)	(1) $M_u$ (m)	(5) $M_u$ (m)	$\Delta M_u$ (m)
2	0.550	0.454	0.096	0.668	0.591	0.077	0.866	0.808	0.058
3	0.373	0.347	0.036	0.485	0.464	0.021	0.662	0.647	0.015
5	0.260	0.258	0.002	0.353	0.352	0.001	0.496	0.495	0.001
9	0.182	0.182	0	0.254	0.254	0	0.364	0.364	0
注	$S = 225 \text{ km}, \frac{m_s}{S} = \frac{1}{65 \text{ 万}}, S_t = 25 \text{ km}, N = 10$								
备	$m_0 = \pm 0''35 \quad \Delta M_u = M_u^{(1)} - M_u^{(5)}$								

## 五

不难看出,三种方法对提高特级导线的精度都有一定的作用。所以,应根据实际情况来选取最佳方案,使得能达到一定的精度,而增加的外业和计算工作量又较少。根据上面的分析,我们认为,特级导线可采用以表2的(2.7)和(3.1)为基础的两种方案来布设:

1、在特级导线上每隔三~四条边加测一个天文方位角( $m_a = \pm 1''0$ )每400公里测定一个人卫长边方位角( $m_a = \pm 0''25$ ),并将导线一侧的一等三角锁参加平差。对于长约400公里的单一导线来说,就是加测5个天文方位角和一个长边方位角。

2、每隔八~九条边加测一个天文方位角( $m_a = \pm 1''0$ ),每隔200公里和400公里测定一个人卫长边方位角( $m_a = \pm 0''5$ 和 $\pm 0''25$ ),平差时增加导线一侧的一等三角锁。对于长约400公里的单一导线来说,就是加测三个天文方位角和两个长边方位角。

由于我国的一等三角网各锁段交叉处都测有天文方位角,因此,按第一个方案只需在每个锁段中间加测一个天文方位角;按第二个方案可以不再另外加测天文方位角。这两种方案要求天文方位角的观测精度是 $\pm 1''0$ 。也就是我国天文大地网中天文方位角的精度,而人卫长边方位角的精度是按卫星多普勒网短弧平差的精度估算的,也可以达到。

因为表2中的方案(2.7)和(3.1)可以使导线端点B的相对点位精度达到1/87万

和 $1/88.6$ 万,所以可认为,采用这里提出的两种方案,对于长约 $400\sim 500$ 公里的单一导线,其端点的相对点位精度约为 $1/90$ 万。如果将特级导线布设成结点间距离为 $400\sim 500$ 公里的导线网,相邻结点之间的相对点位精度便可以达到或超过 $1/100$ 万。例如,对图五(a)

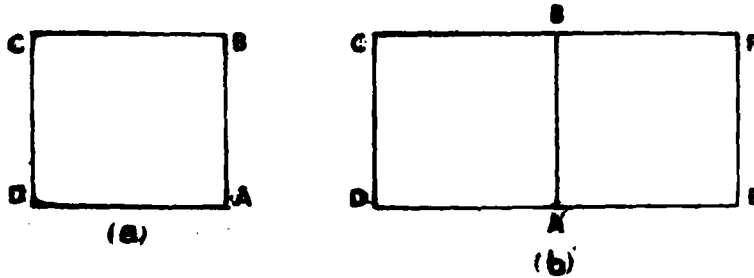


图5

所示的环形导线,按表2的(2.7)方案的结果作粗略的估计,认为B点的坐标是由AB和ADCB的两条导线取带权平均值所得,C点的坐标是由ABC和ADC两条导线取带权平均值所得,可算得B点和C点的相对点位精度约为 $1/105$ 万和 $1/120$ 万;类似地估算图五(b)所示的导线网,其中点B的相对点位精度可达 $1/120$ 万。

## 参 考 文 献

- [1] 杨诚,我国特级导线布设方案初步探讨,测绘科技通讯,3,1980.  
[2] 尹任祥,特级导线的天文方位角的配置密度,武汉测绘学院学报,2,1981.

## On the Accuracy Calculation and Analysis of High Precision Traverse

Yin Renxiang Liu Dajie

### Abstract

In order to calculate the accuracy of high precision traverse, several schemes have been adopted in this paper. As a result of these calculations, three methods for increasing the accuracy of high precision traverse are analyzed and two best schemes for establishing high precision traverse in China are recommended.