

文章编号: 0451—0712(2003)12—0073—03

中图分类号: U412. 2

文献标识码: B

导线测量技术要求探析

栗志海

(中交公路规划设计院北京市100010)

摘要: 阐述了现行《工程测量规范》(GB 50026—93)中导线测量技术指标的推算过程,给出了长度超过规范要求导线的全长相对闭合差值,尝试性提出了“以相邻点相对点位中误差为主要控制要素、以最弱点点位中误差为辅助控制要素”的导线测量技术要求。

关键词: 规范指标分析; 超长导线闭合差; 参考性新技术要求

现行《工程测量规范》(GB 50026—93)中导线测量的主要技术要求见表1。

表1

导线等级	<div>导线长度 km</div>	<div>导线 平均边长 km</div>	<div>测角 中误差 (")</div>	<div>测距 中误差 mm</div>	测距相对中误差	<div>测角 测回数 (DJ2)</div>	<div>方位角 闭合差 (")</div>	导线全长相对闭合差
三等	14	3	1.8	20	1/150 000	10	$3.6\sqrt{n}$	1/55 000
四等	9	1.5	2.5	18	1/80 000	6	$5\sqrt{n}$	1/35 000
一级	4	0.5	5	15	1/30 000	2	$10\sqrt{n}$	1/15 000
二级	2.4	0.25	8	15	1/14 000	1	$16\sqrt{n}$	1/10 000
三级	1.2	0.1	12	15	1/7 000	1	$24\sqrt{n}$	1/5 000

在多年公路测量实践过程中,执行上述规范时经常遇到以下问题:

(1)实际敷设的导线长度经常超出规范要求,导线长度超限时,不清楚如何判断导线测量是否满足要求。常出现导线长度已经远远超过规范要求,却仍然采用规范中的“导线全长相对闭合差”值来判断导线测量是否满足要求的不合理现象。

(2)公路测图及勘测施工,一般情况下,只要相邻点的相对点位精度满足要求即可,导线最弱点的点位误差不是主要的控制因素,但现行规范中导线测量技术要求均是基于最弱点点位中误差制定的。

针对上述问题,笔者结合多年公路测量实践,尝试性提出一些技术见解,为广大公路测量工作者提供一点参考。

1 现行规范技术指标分析

国家测绘部门及《工程测量规范》(GB 50026—

93)在确定导线长度和导线全长相对闭合差时,是以导线最弱点的点位中误差作为控制指标的,一般要求各等级导线最弱点的点位中误差不大于5 cm。5 cm是这样考虑的:地形图测量、图上作业和肉眼鉴别的精度一般约为0.1 mm,作为导线控制应能够满足工程测量最大比例尺测图的要求,大比例尺地形图比例一般取为1:500,图上0.1 mm相当于实地5 cm;同时,5 cm的点位精度也能够满足大部分工程项目的施工放样要求。

下面详细说明规范中“方位角闭合差”、“导线长度”和“导线全长相对闭合差”的推算过程。

1.1 方位角闭合差

单一附和导线角度闭合差的计算公式如式(1)(行文中所用符号均符合常规习惯,为节省篇幅,未一一注释):

$$f_{\beta}=\alpha_{起}+n\cdot180-\sum_{i=1}^n\beta_i-\alpha_{终}$$

(1)

应用误差传播定律可得：

$$m_{f_{\beta}}^2=m_{\alpha_{起}}^2+n\cdot m_{\beta}^2+m_{\alpha_{终}}^2 \tag{2}$$

起、终方向一般为高一级的国家三角点,当起算数据误差与 $(n\cdot m_{\beta}^2)$ 相比可以忽略不计时,则得 $m_{f_{\beta}}=\sqrt{n}\cdot m_{\beta}$,取 2 倍中误差作为极限误差,即得方位角闭合差限值,详见表 2。

表 2

导 线 等 级	三等	四等	一级	二级	三级
测角中误差/(")	1.8	2.5	5	8	12
方位角闭合差限值的公式计算值/(")	$3.6\sqrt{n}$	$5\sqrt{n}$	$10\sqrt{n}$	$16\sqrt{n}$	$24\sqrt{n}$
方位角闭合差限值的规范采用值/(")	$3.6\sqrt{n}$	$5\sqrt{n}$	$10\sqrt{n}$	$16\sqrt{n}$	$24\sqrt{n}$

1.2 导线长度及导线全长相对闭合差

一般地,导线测量精度分析可采用简化的等边直伸导线。设等边直伸导线中间最弱点由导线测量引起的纵、横向误差分别以 $m_{t弱}$ 、 $m_{u弱}$ 表示,由起算数据引起的纵、横向误差分别以 $m'_{t弱}$ 、 $m'_{u弱}$ 表示。导线条件平差后,其中部最弱点点位中误差的计算公式为：

$$m_{弱}^2=m_{t弱}^2+m_{u弱}^2+m_{t弱}'^2+m_{u弱}'^2 \tag{3}$$

确定规范指标时,一般是按照等影响原则来计算各项误差。所谓等影响原则是指某一量值的误差由多种误差共同引起时,如果各种误差基本相等,则测量工作最经济、最合理,用公式表达即为：

$$m_{t弱}=m_{u弱}=m'_{t弱}=m'_{u弱} \tag{4}$$

依式(4),如果最弱点点位精度按 5 cm 计,对于等边直伸导线,各项误差计算公式如式(5);导线技术指标与导线长度间的关系如式(6)、(7)。

$$m_{t弱}=\frac{1}{2}\cdot m_s\cdot \sqrt{n}$$
$$m_{u弱}=0.35m_{\beta}(n\cdot S)\cdot \sqrt{n+5} \tag{5}$$

$$m'_{t弱}=m'_{u弱}=2.5\text{ cm}$$

$$\frac{1}{4}\cdot m_s^2\cdot n+0.35^2\cdot m_{\beta}^2\cdot L^2\cdot (n+5)+25^2+25^2=50^2 \tag{6}$$

$$\frac{0.122\ 5\cdot m_{\beta}^2}{S}\cdot L^3+0.612\ 5\cdot m_{\beta}^2\cdot L^2+\frac{0.25\cdot m_s^2}{S}\cdot L-1\ 250=0 \tag{7}$$

角度近似平差后,导线端点点位中误差的计算公式为：

万方数据

$$m_{端}=\sqrt{m_t^2+m_u^2+m_t'^2+m_u'^2}$$

$$=\sqrt{4m_{t弱}^2+16\ m_{u弱}^2+4\ m_{t弱}'^2+4m_{u弱}'^2} \tag{8}$$

取 2 倍中误差作为极限误差,则导线全长相对闭合差限差为 $\frac{2m_{端}}{L}$,一般表示成 $\frac{1}{T}$ 形式。

上述各式中导线长度 L 、导线边长 S 、测距误差 m_s 和测角误差 m_{β} 分别以 km、km、mm 和 (") 为单位, n 为导线边数。导线长度和导线全长相对闭合差计算结果如表 3。

表 3

导 线 等 级	三等	四等	一级	二级	三级
平均边长 S/km	3	1.5	0.5	0.25	0.1
测角中误差/(")	1.8	2.5	5	8	12
导线边的测距中误差 m_s/mm	20	18	15	15	15
导线长度 L 的公式计算值/km	14.187	9.325	4.294	2.452	1.29
导线长度 L 的规范采用值/km	14	9	4	2.4	1.2
导线全长相对闭合差公式计算值	1/51 024	1/33 858	1/15 490	1/9 045	1/5 050
导线全长相对闭合差规范采用值	1/55 000	1/35 000	1/15 000	1/10 000	1/5 000

2 超长导线全长相对闭合差参考值

按上述分析,表 1 中的“导线全长相对闭合差”与“导线长度”是一一对应的,例如,一级导线,按表中规定的边长和距离、角度施测要求,当导线长度约 4 km 时,其“导线全长相对闭合差”值应不低于 1/15 000;而实际导线长度若短于 4 km 时,其“导线全长相对闭合差”应高于 1/15 000,相反,导线长度长于 4 km 时,其“导线全长相对闭合差”应低于 1/15 000。

以表 1 中一级导线为例,根据式(3)~(8)可以计算出与导线长度对应的导线全长相对闭合差及相应的最弱点点位中误差,详见表 4。

3 公路导线测量参考性技术要求

表 1 中导线测量技术要求主要是从各工测部门测量工作的一般性和普遍性来考虑的,就是以导线最弱点点位中误差不大于 5 cm 为基本的控制指标。然而,公路控制测量有其一定的特殊性:一是公路测图常用的比例尺是 1 : 2 000,而不是 1 : 500;二是无论公路测图还是施工放样,并不十分关心导线的最弱点点位中误差大小,最重要的技术指标是相邻导线点的相对点位中误差,只要相邻导线点的相对

表 4

导线长度/km	5	10	15	20	30	40	50	80
导线全长相对闭合差	1/15 084	1/12 418	1/10 651	1/9 447	1/7 895	1/6 915	1/6 226	1/4 971
最弱点点位中误差/mm	58	133	227	339	604	918	1 384	2 546

点位精度满足要求,一般可以完成公路勘测和施工任务。当然,如果公路用图不是完全以实测导线为控制进行现场测绘,而是以国家测绘部门地图为基础,加以补充调绘,这时会出现导线中部地区的地形、地物与国家地形图有一定差异的现象,但是根据公路工程对地形图的使用要求,即使这种误差在实地大到 2~5 m,在图上也仅为 1~2.5 mm,也是可以满足公路工程一般要求的。

根据这一思路,表 5 中列出了适合于公路工程特点的导线测量的主要技术要求(仅供参考)。结合目前公路实际测量状况,测角要求略有降低,测距要求略有提高;考虑到公路导线点无论等级高低,均应直接用于工程放样,所以,导线边长最长取 500 m;相邻点相对点位中误差与导线边长、测角和测距精度相关;方位角闭合差按前述原理计算。

表 5

导线等级	相邻点 相对点位 中误差	导线	测角	测距	测角	测距 测回数	方位角 闭合差 (″)
		平均边长 m	中误差 (″)	中误差 mm	测回数 (DJ2)		
三等	1/70 000	500	2.1	5	8	8	$4.2\sqrt{n}$
四等	1/40 000	500	4.0	8	4	6	$8\sqrt{n}$
一级	1/20 000	500	7	10	2	4	$14\sqrt{n}$
二级	1/10 000	250	9	15	1	2	$18\sqrt{n}$
三级	1/6 000	100	13	15	1	2	$26\sqrt{n}$

表 5 中仅规定了导线的方位角闭合差,没有单列出导线全长相对闭合差值。由于导线全长相对闭合差值与导线长度有关,根据表 5 中的各项技术指标,表 6 中列出了与不同导线长度对应的导线全长相对闭合差的限值,导线测量必须使该指标满足要求。最弱点点位中误差作为辅助指标亦在表中列出,作为导线规划设计时参考。

表 6

导线长度 km	三等导线		四等导线		一级导线		二级导线		三级导线	
	T	$\mu_{\text{弱}}$	T	$\mu_{\text{弱}}$	T	$\mu_{\text{弱}}$	T	$\mu_{\text{弱}}$	T	$\mu_{\text{弱}}$
1	37 728	8	21 710	10	14 197	14	8 350	25	4 831	42
2	41 206	9	22 803	16	13 973	25	8 476	44	4 454	80
3	40 531	13	22 000	24	13 113	39	7 932	66	3 954	128
4	38 871	18	20 877	33	12 270	54	7 358	92	3 557	185
5	37 056	23	19 777	42	11 529	71	6 854	121	3 250	250
6	35 325	28	18 777	53	10 891	89	6 426	153	3 006	322
7	33 743	34	17 887	64	10 340	109	6 061	188	2 808	400
8	32 316	41	17 098	76	9 861	130	5 748	225	2 644	484
9	31 032	47	16 395	89	9 440	153	5 476	264	2 505	574
10	29 875	54	15 767	102	9 067	176	5 239	306	2 386	668
15	25 488	94	13 416	178	7 689	310	4 382	545	1 969	1 209
20	22 560	141	11 862	268	6 790	467	3 840	827	1 714	1 849
30	18 823	253	9 889	481	5 655	840	3 171	1 499	1 406	3 376
40	16 477	385	8 654	732	4 947	1 279	2 761	2 293	1 221	5 184
50	14 832	534	7 789	1 016	4 452	1 777	2 478	3 193		
60	13 597	698	7 140	1 330	4 081	2 326	2 267	4 187		
70	12 627	877	6 630	1 670	3 789	2 922	2 102	5 267		
80	11 838	1 069	6 216	2 036	3 552	3 562				
90	11 181	1 273	5 870	2 425	3 355	4 243				
100	10 622	1 489	5 577	2 836	3 187	4 962				
120	9 717	1 953	5 102	3 720	2 915	6 509				
140	9 009	2 457	4 730	4 681						
160	8 437	2 999	4 430	5 712						
180	7 961	3 575								
200	7 558	4 184								
220	7 211	4 825								
240	6 907	5 494								

注:1. 导线全长相对闭合差通常写成 $1/T$ 的形式,为列表方便表中直接给出 T 值;

2. 表中 $\mu_{\text{弱}}$ 为导线的最弱点点位中误差,单位为 mm。